Bericht

über die

neuesten Fortschritte

der

Physik.

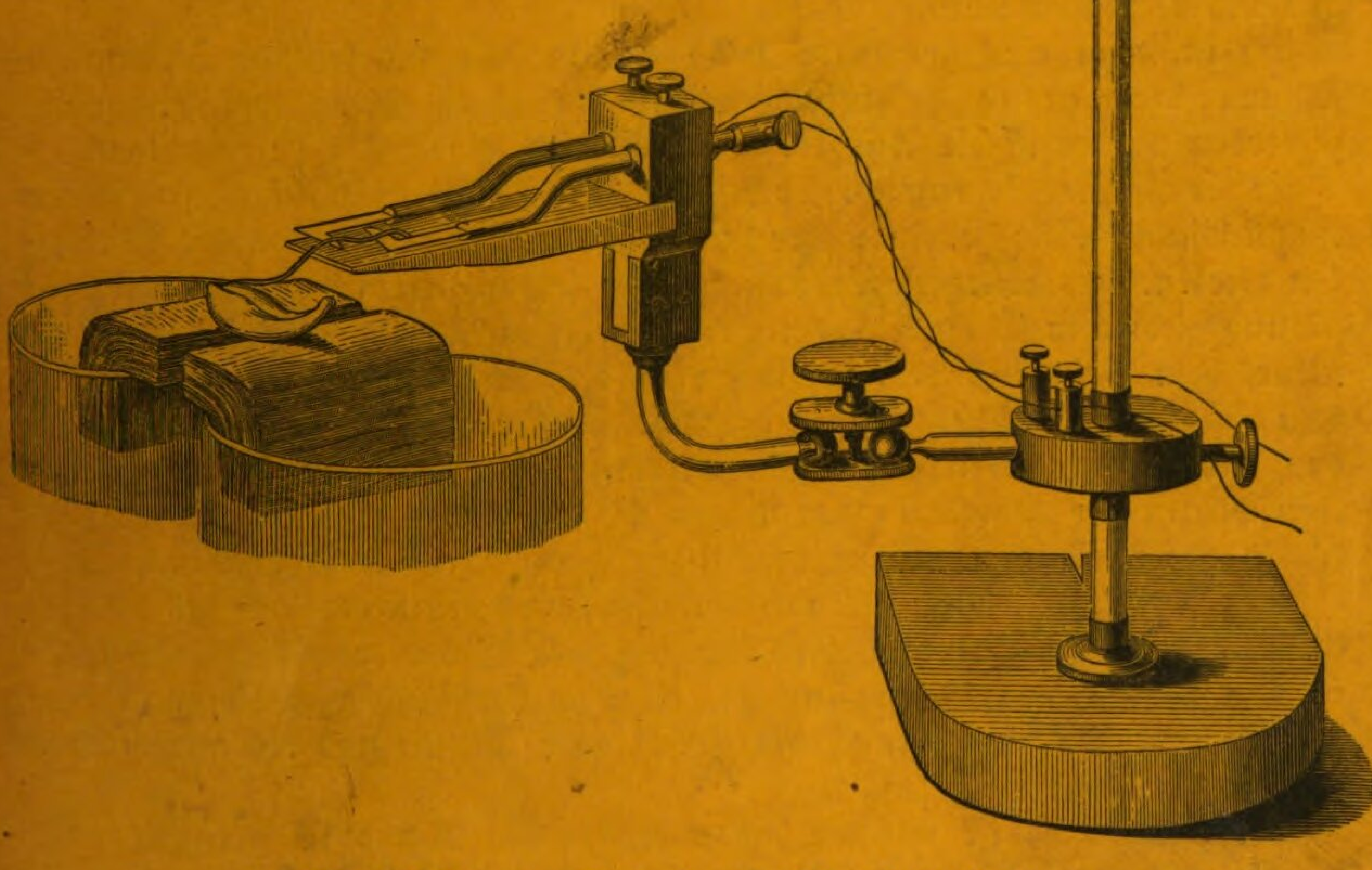
In

ihrem Zusammenhange dargestellt

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität
zu Freiburg im Breisgau.



Mit 346 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Neunte und zehnte Lieferung.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1851.

Die mindere Bogenzahl dieser Lieferungen, durch den Sch

Ankündigung.

Je rascher die Fortschritte sind, welche in den Naturwissenschaften gemacht werden, je mehr Material durch das rastlose Streben der Naturforscher angehäuft wird, desto schwieriger wird es, dem Gange der Entdeckungen zu folgen und sich auf der Höhe der Wissenschaft zu erhalten.

Diese Behauptung, für alle Zweige der Naturwissenschaften wahr, findet auch im vollen Maaße ihre Anwendung auf die Physik. Je unentbehrlicher physikalische Kenntnisse einem Jeden sind, der irgend einen Zweig der Naturwissenschaften mit Erfolg zu cultiviren gedenkt, je mehr Bedeutung die Physik für das praktische Leben gewinnt und je mehr man die Nothwendigkeit eines gründlichen naturwissenschaftlichen Unterrichts für Schulen und Universitäten erkennt, um so nothwendiger ist es, daß die Fortschritte der Physik durch leichtfaßliche und doch gründliche Darstellung einem größeren Kreise zugänglich gemacht werden.

So ist denn eine geordnete, leicht verständliche und kritische Zusammenstellung der neueren Erforschungen der Physik ein dringendes Bedürfniß geworden und es ist die Aufgabe dieses Werkes, eine solche zu vermitteln.

Es wird für Jedermann, der sich mit Physik beschäftigt, sey es im Fachstudium, Selbststudium oder in angewandter Weise, von hoher Wichtigkeit werden. Es bietet die Ergänzungen zu jedem älteren Lehrbuche der Physik und giebt dem Chemiker, dem Mediciner, dem Pharmaceuten, dem Ingenieur, dem Techniker, dem Industriellen, dem Berg- und Hüttenmanne, jedem, dem die Physik eine unentbehrliche Hülfswissenschaft für sein Fach ist, das bisher nicht vorhandene Mittel, sich rasch und übersichtlich mit den Fortschritten der Physik in den letzten 10 Jahren, sey es für die Wissenschaft oder die Anwendung im praktischen Leben, vertraut zu machen.

Das Werk wird zwei Bände umfassen, von denen der erste die physikalischen Fortschritte auf dem unendlich wichtigen Gebiete der Elektricitätslehre in ihrer ganzen Ausdehnung enthält. Der zweite Band wird die Fortschritte auf dem Gebiete der Wärme, des Lichts, der Akustik und des mechanischen Theils der Physik umfassen.

Der erste Band ist mit der hierbei erfolgenden 9. und 10. Lieferung vollständig erschienen; der zweite Band wird in 8 bis 10 Lieferungen, jede zu 6 Bogen, ausgegeben. Der Preis des ersten Bandes, mit 346 in den Text gedruckten Abbildungen, ist 5 Thlr.; Preis jeder Lieferung 12 Ggr.

Nach Vollendung des zweiten Bandes wird wohl so viel Material vorhanden seyn, um denselben Cyclus von Neuem zu beginnen, der dann aber einen kürzeren Zeitraum als 10 Jahre umfassen wird.

Braunschweig, December 1851.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Eduard Vieweg.

Vorrede.

Wenn ich mit einem Berichte über die neueren Fortschritte der Physik auftrete, während unsere Literatur bereits mehrere Repertorien und Jahresberichte zählt, an welchen sich Männer betheiligen, welche sich der allgemeinsten Anerkennung erfreuen, so läßt sich ein solches Unternehmen nur dadurch rechtfertigen, daß mein Bericht eine wesentlich andere Tendenz verfolgt als jene. In der That ist es die Aufgabe jener Werke, dem Leser in kurzer Uebersicht alle die Arbeiten und Untersuchungen vorzulegen, welche von Jahr zu Jahr auf dem fleißig bebauten Felde der physikalischen Forschung geliefert werden, während mein Streben dahin geht, nicht allein darüber zu berichten, was in der neueren Zeit geliefert worden ist, sondern auch diese Fortschritte durch eine entsprechende Darstellung einem größeren Kreise von Freunden der Wissenschaft zugänglich zu machen.

Um diesen Zweck zu erreichen, mußte ich zunächst den Plan aufgeben, von dem ich ursprünglich ausgegangen war, nämlich den Plan, einen physikalischen Jahresbericht auszuarbeiten. Nur dann ist es möglich, die einzelnen Materien in gehöriger Abrundung darzustellen, wenn man sich nicht auf die Arbeiten eines Jahres beschränkt, sondern wenn man die entsprechenden Untersuchungen eines größeren Zeitraumes zusammenstellt. Ich dehnte dehalb meinen Bericht ungefähr über das letzte Decennium aus. Der vorliegende

Band bespricht nur die Fortschritte der Elektricitätslehre, welche sich in der letzten Zeit ungleich größerer Erweiterungen zu erfreuen hatte, als die übrigen Zweige der Physik, die ich in ähnlicher Weise in einem folgenden Bande zu behandeln gedenke. Bis zur Vollendung dieses zweiten Bandes ist dann ohne Zweifel wieder Material genug vorhanden, um den Cyclus von neuem beginnen zu können, wenn es mir im Uebrigen die Umstände vergönnen.

Es sind mehrere Jahre über der Ausarbeitung des vorliegenden ersten Bandes dahingegangen, die einzelnen Kapitel desselben sind also keineswegs gleichzeitig, sie stellen nicht den gleichzeitigen Zustand der entsprechenden Theile der Elektricitätslehre dar. Ich habe es nicht für zweckmäßig gehalten, dies durch Nachträge zu den früheren Kapiteln auszugleichen, zum Theil, weil dadurch die Vollendung dieses ohnehin schon voluminösen Bandes abermals eine nicht unbedeutende Verzögerung erlitten haben würde; dann aber auch deshalb, weil solche Nachträge zu sehr den aphoristischen Charakter tragen würden, welchen ich bis dahin gerade zu vermeiden suchte. Es schien mir zweckmäßiger, die Besprechung der meisten Forschungen, welche mir erst nach dem Drucke der entsprechenden Kapitel dieses Buches bekannt werden für den nächsten Bericht über die Fortschritte der Elektricitätslehre aufzusparen.

Die wenigen Nachträge, welche sich am Schlusse dieses Bandes befinden, berichten nur über Gegenstände, welche zur Zeit, in welcher die entsprechenden Kapitel abgefaßt wurden, schon publicirt waren, welche aber gehörigen Orts zu besprechen übersehen worden waren.

Was die Form betrifft, so habe ich die physikalischen Errungenschaften des bezeichneten Zeitraums ungefähr in solcher Weise zu entwickeln und darzustellen gesucht, als ob ich sie für die entsprechenden Kapitel eines mehr als gewöhnlich ausführlichen, aber dessen ungeachtet elementar gehaltenen Lehrbuchs der Physik zu bearbeiten gehabt hätte.

Daraus ergiebt sich nun auch, daß mein Bericht unmöglich auf diejenige Vollständigkeit Anspruch machen kann, welche für die übrigen Repertorien und Jahresberichte wesentliche Aufgabe ist. Diese haben in gedrängter Kürze eine möglichst vollständige Ueber-

sicht aller entsprechenden Arbeiten zu geben, während ich mit größerer Ausführlichkeit, aber nur das Wichtigere besprechen muß.

Hiermit will ich nun nicht gesagt haben, daß ich Alles Wichtigere wirklich besprochen habe, daß Alles, worüber ich schweige, damit als wissenschaftlich werthlos bezeichnet sein soll. — Fern sey mir eine solche Anmaßung. — Wohl mag es sein, daß mir bei den geringen literarischen Hülfsmitteln, welche unsere Anstalt bietet, bei meiner Entfernung von naturwissenschaftlichen Centralpunkten Manches, namentlich von ausländischen Arbeiten unbekannt blieb, was der Erwähnung werth gewesen wäre, wohl mag es auch sein, daß ich von deutschen Untersuchungen schweige, welche den Keim zu bedeutenden Forschungen in sich tragen, weil sie mir bei dem gegenwärtigen Zustand ihrer Entwickelung noch nicht recht zur Besprechung an dieser Stelle gereift oder geeignet erschienen. Für meine Zwecke erwächst jedoch daraus um so weniger ein wesentlicher Nachtheil, als diese in der Folge zu entschiedener physikalischer Bedeutung sich entwickelnden Anfänge gerade in einem späteren Berichte die passendste Stellung finden werden.

Es ist in Deutschland wenigstens allgemein anerkannt, daß die Lehre vom Galvanismus erst durch das Ohmische Gesetz eine festere Basis erlangt hat und daß nur mit Hülfe desselben eine präcisere Methode in die galvanischen Forschungen eingeführt werden konnte. Erst dann aber wird die Wissenschaft den vollen Gewinn aus diesem Gesetz zu ziehen im Stande seyn, wenn allgemein bestimmte Einheiten für Stromstärke, Leitungswiderstand und elektromotorische Kraft in Anwendung gebracht werden; erst wenn die numerische Bestimmung der Constanten galvanischer Elektromotoren allgemein an die Stelle der jetzt noch üblichen vagen Angaben*)

*) Wie nothwendig es ist, daß in dieser Beziehung endlich klarere Vorstellungen verbreitet werden, zeigen uns recht auffallend die »Elemente der Elektrometallurgie von Alfred Smee,« von deren dritter Auflage kürzlich eine deutsche Uebersetzung erschienen ist (Leipzig, bei Ambr. Abel). Auf das Ohmische Gesetz hält Smee nicht viel, er sagt: »In dieser Formel »fehlen die Quantität und die Intensität und sie paßt einzig auf die Con»tacttheorie keineswegs auf die chemische Theorie der Säule, welche man »jetzt allgemein in England angenommen hat.« Man kann sich denken, in welchem Chaos sich Smee bei Vergleichung verschiedener galvanischer Combinationen und

getreten seyn wird, so daß man mit Bestimmtheit den Effect berechnen kann, den eine gegebene galvanische Combination unter bestimmten Verhältnissen geben kann und muß, wird auch die Technik mit größerer Sicherheit galvanische Ströme in Anwendung zu bringen im Stande sein. Ich habe deshalb auf diesen Punkt vorzugsweise meine Aufmerksamkeit gerichtet und habe die Anwendung der Jakobi'schen Einheiten, welche mir für den allgemeinen Gebrauch die passendsten schienen, in einer Ausdehnung durchzuführen versucht, wie es bisher noch nicht geschehen ist.

Seit das erste Heft dieses Berichtes erschienen ist, sind bereits drei Jahre verflossen. Bei dem besten Willen war es mir nicht möglich, neben meinen andern Berufsgeschäften das Erscheinen dieses Werkes rascher zu fördern. Um noch größere Verzögerung zu verhindern, sah ich mich nach fremder Hülfe um. Herr Professor Frick übernahm es, die praktischen Anwendungen der Elektrolyse, die Thermoelektricität und das elektrische Chronoscop zu bearbeiten. Das Kapitel über die elektrische Telegraphie rührt von Herrn Professor Schellen her. Ich fühle mich diesen Herren für die mir geleistete Unterstützung sehr zu Dank verpflichtet.

Freiburg im December 1851.

J. Müller.

---

ihrer Wirkungen verlieren muß, da er die einzig sichere Grundlage einer solchen Vergleichung von der Hand wieß. Folgendes Beispiel mag genügen, um den Standpunkt zu charakterisiren, welchen Smee in dieser Beziehung einnimmt. Er sagt: (Seite 42 der Uebersetzung) »Vielleicht kann ich an»nähernd das Verhältniß der Kosten angeben, welche die drei Batterieen in »ihrer Wirksamkeit nöthig machen. In meiner stellen sich die Kosten = »Zink + Säure + locale Wirkung. In der constanten Batterie sind sie »= Zink + Säure + schwefelsaures Kupfer + viel locale Wirkung. Jede »Zelle derselben würde um eine gewisse Wirkung zu thun etwa zweimal so »viel kosten als die meinige. In der Grove'schen Batterie haben wir die »Kosten = Zink + Säure + Salpetersäure die durch den Wasserstoff zer»stört wird + Salpetersäure, welche sich mit dem Ammoniak verbindet, das »bei der Thätigkeit der Batterie gebildet wird + übermäßigen Verbrauch »von Zink, = wenigstens dreimal so groß, als die welche die meinige er»fordert.« [?]

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

B.

F.

G.

H.

J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

R.

S.

T.

U.

V.

Benachrichtigung.

Die lange Verzögerung im Erscheinen dieses Heftes hat zum großen Theile ihren Grund in den zeitraubenden experimentellen Untersuchungen über Electromagnetismus, die ich anstellen zu müssen glaubte, um einige Lücken auszufüllen. — Um jedoch die Vollendung dieses Heftes nicht all zu sehr hinauszuschieben, habe ich Herrn Professor Frick, welcher sich vielfach mit diesem Gegenstande beschäftigt hat, ersucht, die technischen Anwendungen der chemischen Wirkungen des Stromes zu bearbeiten; von ihm sind die Paragraphen 181 bis 185 verfaßt.

Bei den Betrachtungen über Contacttheorie und chemische Theorie hat sich ein Fehler eingeschlichen, den ich einstweilen schon erwähnen zu müssen glaube. Durch die Versuche von Pfaff und Buff ist die Thatsache nachgewiesen, daß Zink in gesäuertes Wasser eingetaucht an seinem hervorragenden Ende negativ electrisch ist, während ich auf Seite 238 und auf Seite 265 dieß noch als eine offenstehende Frage bezeichnet habe. Am Schlusse dieses Bandes werde ich eine ausführliche Berichtigung geben.

Freiburg, im April 1850.

J. Müller.

Vierter Abschnitt.

Galvanische Licht= und Wärmephänomene.

Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom. Die Ge= 154
setze der Wärmeentwickelung, welche der galvanische Strom in Metalldrähten hervorbringt, wurden von Joule (Phil. magazine, Oct. 1841) und von Lenz (P. A. LIX. S. 203 und 407, LXI. S. 18) untersucht.

Da der Aufsatz von Joule in meiner nähern Umgebung nicht vorhanden ist, so beschränke ich mich darauf, nur über die Arbeit von Lenz zu berichten, was wohl genügen wird, da die Resultate des russischen Physikers mit denen des englischen übereinstimmen.

Die beiden ersten Abtheilungen des Aufsatzes von Lenz im 59sten Bande von Poggendorff's Annalen enthalten nur Vorbereitendes, worüber wir kurz hinweggehen können.

Zur Messung der Stromkraft bediente sich Lenz einer Nervander'schen Tangentenbussole, welche auf das sorgfältigste gearbeitet und geprüft war. Durch genaue Versuchsreihen überzeugte sich Lenz davon, daß bis zu 40° die Stromstärken der Tangenten des Ablenkungswinkels proportional sind.

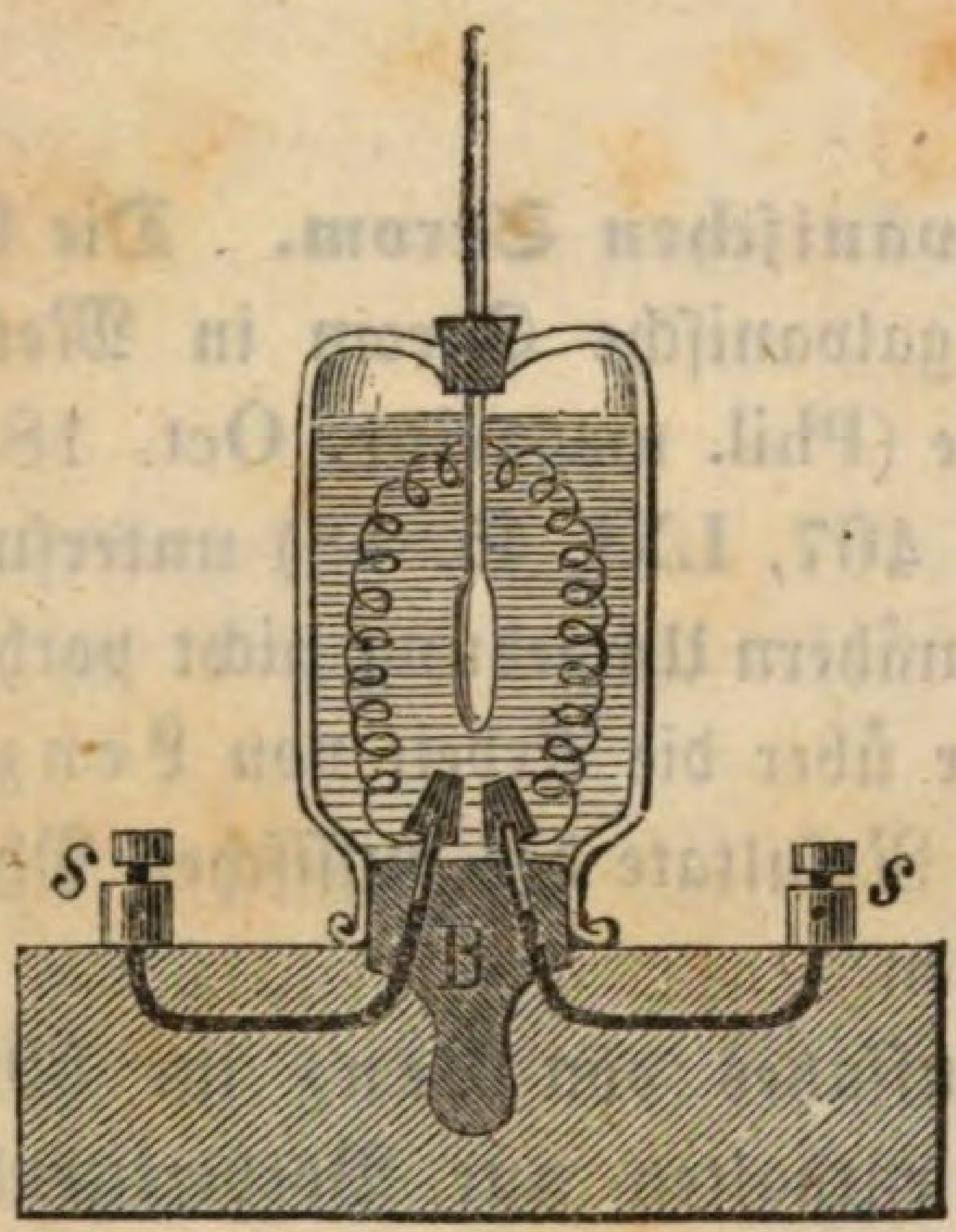
Auch mit der Wasserzersetzung hat Lenz seine Tangentenbussole verglichen. Als Resultat seiner zahlreichen genauen Versuche ergiebt sich, daß man die Tangente des beobachteten Ablenkungswinkels mit 39,3 zu multipliciren habe, um die diesem Strom entsprechende reducirte Menge Knallgas für die Minute in Kubikcentimetern ausgedrückt zu erhalten. Als Einheit des Stromes nimmt Lenz denjenigen an, welcher 1° Ablenkung an seine Tangentenbussole hervorbringt, und diese liefert 0,686 K.C. Knallgas in der Minute. — Da unsere Stromeinheit diejenige ist, welche 1 K.C. Knallgas in der Minute liefert, so ist klar, daß man die Lenz'schen Werthe der Stromstärke mit 0,686 multipliciren muß, um sie auf

unsere Stromeinheit zu reduciren. In dem Folgenden werde ich statt der Lenz'schen Werthe für die Stromstärke gleich die reducirten setzen.

Als Einheit des Widerstandes nimmt Lenz den Widerstand einer Windung seines Rheostaten (Agometers) von Neusilber an, welcher nach seinen Angaben gleich ist dem Widerstande eines 6,358 engl. Fuß langen Kupferdrahtes, der einen Durchmesser von 0,0336 engl. Zollen hat. Daraus ergiebt sich, daß diese Widerstandseinheit gleich 2,66 der unsrigen ist; die Lenz'schen Werthe des Widerstandes müssen also mit 2,66 multiplicirt werden, wenn man sie auf unsere Einheit reduciren will.

Um die Wärme zu messen, welche in einem Metalldraht durch den galvanischen Strom entwickelt wird, wandte Lenz den beistehend gezeichneten Apparat, Fig. 138, an.

Fig. 138.



In der Mitte eines Brettes ist der Glasstöpsel *B* befestigt, welcher in den Hals einer Glasflasche eingeschliffen ist, so daß diese vermittelst etwas Fett luft- und wasserdicht aufgesetzt werden konnte. — Eine in der Figur fortgelassene Messingklammer drückt den untern horizontalen Rand des Flaschenhalses an das Brett an, so daß die Flasche selbst bei heftigen Bewegungen des Apparates nicht herabfällt. — Die Flasche hat oben, also eigentlich in ihrem Boden, ein cylindrisch eingeschliffenes Loch, in welches sowohl die Flüssigkeit eingegossen, als auch mittelst eines Korkes ein Thermometer eingesetzt werden kann. Dieses Thermometer war in $1/5$ Grade getheilt.

Durch den Glasstöpsel gehen zwei eingebohrte und festgekittete Drahtstücke von ungefähr 1 Linie Durchmesser hindurch. Ihr oberes in die Flasche hineinragendes und hier etwas conisch zugehendes Ende ist von Platin; diese Platinkegel sind unten an gleich dicke Kupferdrähte angelöthet, welche, in das Brett eingelassen, zu den Schraubklemmen *s* führen, in welche die von den Polen der Kette kommenden Zuleitungsdrähte eingeschraubt werden.

Der Draht, welcher erwärmt werden soll, ist vorläufig um einen cylindrischen 1 bis 2 Linien dicken Stift zu einer Spirale gewunden und mit seinen Enden mittelst zweier Platinklötzchen auf den Platinkegeln festgeklemmt. Er hält sich durch seine Elasticität aufrecht, ohne mit seinen Windungen irgendwo anzurühren.

Die Flüssigkeit, mit welcher die Flasche immer wenigstens so weit ge-

füllt war, daß die Drahtspirale ganz untertauchten, war Weingeist von 85 bis 86 Procent Alkohol, indem Wasser noch ein so guter Leiter ist, daß ein Theil des Stromes nicht durch den Draht, sondern durch das Wasser hindurchgeht, was man sogleich an einer schwachen Gasentwickelung erkennt.

Nachdem die Drahtspirale gehörig befestigt und eine gemessene Quantität Weingeist in die Flasche eingefüllt war, wurde der Apparat zugleich mit dem Multiplicator (Nervander'sche Tangenbussole) und dem Rheostat in den Schließungsbogen einer Daniell'schen Batterie gebracht. — Mittelst des Rheostaten wurde der Strom stets auf einer bestimmten Stärke erhalten; unterdessen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich ist, damit das Thermometer im Weingeist um eine bestimmte Anzahl von Graden steigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreise die Flüssigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmäßige Vertheilung der Temperatur im Inneren der Flüssigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverlust an die Umgebung veranlaßt werden, wurde der Weingeist unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flasche eingefüllt, und der Versuch geschlossen, als seine Temperatur gerade um eben so viele Grade über die Lufttemperatur gestiegen war, als sie anfänglich darunter stand.

Um den Gang der Untersuchung verständlich zu machen, mag hier derselbe für eine Versuchsreihe ausführlich auseinander gesetzt werden.

Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeist wurde durch Eis bis auf 7° erkaltet in die Flasche eingefüllt und nach der Schließung der Kette mittelst des Rheostaten die Nadel des Multiplicators fortwährend auf 35° erhalten; es wurden nun an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in welchen die Temperatur des Weingeistes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, dann ferner die Momente, in denen sie 16, 17, 18 u. s. w. bis 22 Grad war.

Es ergab sich, daß die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes von

15	bis	17,	also um	2°	zu erhöhen . . .	1,05	Minuten
14	»	18	»	» 4	» »	2,22	»
13	»	19	»	» 6	» »	3,25	»
12	»	20	»	» 8	» »	4,30	»
11	»	21	»	» 10	» »	5,42	»
10	»	22	»	» 12	» »	6,53	»

betrug, daraus ergiebt sich, daß die Zeit t, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen, im Durchschnitt 0,542 Minuten betrug.

Der Leitungswiderstand des Spiraldrahtes wurde dadurch ermittelt, daß man nach Entfernung des Apparates Fig. 138 aus dem Schließungsbogen beobachtete, wie viel Rheostatenwindungen in die Schließung noch eingeführt werden mußten, um den Strom wieder auf dieselbe Größe zu bringen, welche er bei Einschaltung des Erwärmungsapparates gehabt hatte.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate einer großen Anzahl solcher Versuchsreihen zusammengestellt:

Nummer der Versuchsreihe	Drahtsorte	s	t	l
1	Neusilber *a*	6,93	1,349	93,50
2	»	10,53	0,571	93,63
3	»	14,30	0,300	93,94
4	Neusilber *b*	10,53	0,920	58,76
5	»	14,30	0,481	58,64
6	»	18,32	0,288	59,01
7	»	14,30	0,457	60,16
8	Neusilber *c*	18,32	0,384	44,59
9	Platin	14,30	0,555	50,45
10	»	18,32	0,325	51,41
11	Eisen	22,69	0,435	24,92
12	Kupfer	18,32	1,301	13,90
13	»	22,69	0,835	13,90
14	»	27,52	0,575	13,92
15	»	32,98	0,381	14,01
16	»	27,52	0,544	14,31

Es waren drei verschiedene Neusilberdrähte zu den Versuchen angewandt worden; der mit *a* bezeichnete war der dünnste, *b* war etwas dicker als *a*, *c* endlich etwas dicker als *b*.

In dieser Tabelle bezeichnet *s* die Stromstärke und *l* den Leitungswiderstand des Drahtes in unseren Einheiten ausgedrückt; *t* ist die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen. Wie der jedesmalige Werth von *t* als Resultat einer Versuchsreihe ermittelt wird, ist bereits oben angegeben worden.

Die Quantität des in die Flasche gegossenen Weingeistes war immer fast ganz genau dieselbe und zwar im Mittel 90 Gramm.

Vergleicht man alle diejenigen Versuchsreihen miteinander, bei welchen die Stromstärke dieselbe war, so ergiebt sich, daß das Product von t und l sehr nahe constant bleibt. Es ergiebt sich:

Für den Strom 10,53:

2) Neusilber a . . $t\,l = 53{,}46$
4) Neusilber b . . $t\,l = 54{,}06$.

Für den Strom 14,30:

3) Neusilber a . . $t\,l = 28{,}18$
5) Neusilber b . . $t\,l = 28{,}11$
7) Neusilber b . . $t\,l = 27{,}49$
9) Platin . . . . . $t\,l = 28{,}00$.

Für den Strom 18,32:

6) Neusilber b . . $t\,l = 16{,}99$
8) Neusilber c . . $t\,t = 17{,}12$
10) Platin . . . . . $t\,l = 16{,}71$
12) Kupfer . . . . . $t\,l = 18{,}08$.

Für den Strom 22,69:

11) Eisen . . . . . $t\,l = 10{,}84$
13) Kupfer . . . . . $t\,l = 11{,}60$.

Die Gleichheit der Werthe von $t\,l$ für ein und denselben Strom ist so augenfällig, daß die Annahme gerechtfertigt ist, die Erwärmungszeit sey dem Leitungswiderstand umgekehrt proportional, oder mit anderen Worten, die Erwärmungen in bestimmter Zeit seyen dem Leitungswiderstand direct proportional und unabhängig von der sonstigen Natur des Metalles.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stromstärke zu ermitteln, müssen wir die Versuche zusammenstellen, welche mit demselben Drahte bei verschiedenen Strömen angestellt wurden; es zeigt sich alsdann, daß für denselben Draht $s^2\,t$ nahezu eine constante Größe ist. Es ergiebt sich nämlich:

Für den Neusilberdraht a:

1) . . . . . $s^2\,t = 64{,}8$
2) . . . . . $s^2\,t = 63{,}3$
3) . . . . . $s^2\,t = 61{,}3$.

Für den Neusilberdraht b:

4) . . . . . $s^2\,t = 102{,}0$
5) . . . . . $s^2\,t = 98{,}4$
6) . . . . . $s^2\,t = 96{,}7$
7) . . . . . $s^2\,t = 93{,}5$.

Für den Platindraht:

9) . . . . . $s^2\,t$ = 113,5

10) . . . . . $s^2\,t$ = 109,1.

Für den Kupferdraht:

12) . . . . . $s^2\,t$ = 436,6

13) . . . . . $s^2\,t$ = 429,9

14) . . . . . $s^2\,t$ = 435,5

15) . . . . . $s^2\,t$ = 414,2

16) . . . . . $s^2\,t$ = 412,0.

Durch diese Versuche ist also dargethan:

1) Die Wärmeentwickelung ist dem Leitungswiderstande der Drähte proportional.

2) Die Wärmeentwickelung ist den Quadraten der Stromstärke proportional.

Wenn demnach t die Zeit ist, welche erfordert wird, damit durch den Strom s bei dem Leitungswiderstande l eine gegebene Weingeistmasse um 1° R. erwärmt werde, so ist $s^2\,t\,l$ die Zeit, welche nöthig ist, damit dieselbe Weingeistmasse eine Temperaturerhöhung von 1° R. durch die Einheit der Stromstärke bei der Einheit des Leitungswiderstandes erfahre. — Da nun für alle in obiger Tabelle die Weingeistmasse sehr nahe dieselbe war, so muß auch das Product $s^2\,t\,l$ für alle in der Tabelle verzeichnete Versuchsreihen sehr nahe dieselben seyn. Es ergeben sich für das Product $s^2\,t\,l$ für die verschiedenen Versuchsreihen folgende Werthe.

Versuchsreihe.	$s^2\,t\,l$.
1	6059
2	5927
3	5758
4	5994
5	5770
6	5706
7	5625
8	5747
9	5726
10	5609
11	5975
12	6069
13	5976
14	6062
15	5803
16	5896
Mittel	5856.

Die Masse des Weingeistes, welcher in den obigen Versuchsreihen erwärmt wurde, betrug sammt der zu erwärmenden, in Beziehung auf specifische Wärme auf Weingeist reducirte Glasmasse 118 Gramm.

Die Einheit der Stromstärke, durch einen Draht hindurchgehend, welcher die Einheit des Leitungswiderstandes ausübt, entwickelt also so viel Wärme, daß dadurch die Temperatur von 118 Gramm Weingeist in 5856 Minuten um 1^0 R. erhöht wird.

Die specifische Wärme des zu den besprochenen Versuchen benutzten Weingeistes ist 0,7; eine bestimmte Temperaturerhöhung von 118 Grammen Weingeist erfordert also ebenso viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung von 118 . 0,7 = 82,6 Grammen Wasser. — Für 1 Gramm Wasser beträgt also jene Zeit

$$\frac{5856}{82,6} = 70,9 \text{ Minuten},$$

oder wenn man statt der Reaumür'schen Grade Celsius'sche einführt

$$70,9 \,.\, 0,8 = 56,72 \text{ Minuten *)},$$

d. h. wenn die Einheit der Stromstärke einen Draht durchläuft, dessen Widerstand gleich ist dem eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1^{mm} Durchmesser, so wird dadurch eine solche Wärmemenge erzeugt, daß sie die Temperatur von 1 Gramm Wasser in $56\frac{3}{4}$ Minuten um 1^0 C. erhöht.

Nehmen wir, wie es gewöhnlich geschieht, als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1^0 erhöht, so ergiebt sich also aus obigen Untersuchungen, daß die Einheit der Stromstärke, die Einheit des Widerstandes durchlaufend, in demselben in einer Stunde 0,001057 und in einer Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten erzeugt.

Betrachtungen über die Lenz'schen Resultate. Nachdem Lenz 155
das Verhältniß zwischen Stromstärke und Wärmeentwickelung in einem metallischen Schließungsdrahte entwickelt hat, liegt die Idee nahe, die im Schließungsdrahte erzeugte Wärme mit der Menge des in den Erregungszellen durch Wasserzersetzung gebildeten Knallgases zu vergleichen, ein näheres Eingehen in die Sache zeigt aber bald, daß eine solche Vergleichung zu keinem constanten Resultate führen kann.

Wenn für eine bestimmte Anordnung der Volta'schen Kette und einen bestimmten Schließungsdraht ein bestimmtes Verhältniß zwischen Knallgas

---

*) In der Lenz'schen Abhandlung scheint bei der entsprechenden Berechnung (P. A. LXI. 42.) durch Verwechselung von Minuten und Secunden ein Irrthum eingeschlichen zu seyn.

und Wärmeentwickelung stattfindet, so ändert sich dieses Verhältniß, sobald man caeteris paribus nur den wesentlichen Leitungswiderstand der Kette oder die elektromotorische Kraft derselben ändert, denn durch die eine Aenderung sowohl, wie durch die andere wird die Stromstärke verändert; in Folge dessen ändert sich die Knallgasbildung in demselben Verhältniß wie die Stromstärke, während die Wärmeentwickelung im Verhältniß des Quadrats der Stromstärke zunimmt; das Verhältniß zwischen Knallgas und Wärmeentwickelung muß also nothwendig ein anderes werden, man kann demzufolge auch die im Schließungsbogen freiwerdende Wärme durchaus nicht als ein thermisches Aequivalent des in den Erregungszellen entwickelten Knallgases betrachten, es kann mithin auch kein bestimmtes Verhältniß bestehen zwischen der Wärme, welche durch Verpuffung einer bestimmten Menge Knallgas erzeugt wird, und derjenigen, welche bei Entwickelung einer gleichen Knallgasmenge in den Erregungszellen einer galvanischen Kette in dem Schließungsbogen derselben frei wird. —

Noch immer ist es nicht gelungen, eine, wenn auch nur annähernd richtige Vergleichung zwischen der elektrischen Quantität der Elektrisirmaschine und dem Volta'schen Apparate aufzustellen. Nachdem Lenz genaue Untersuchungen über die Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom und Rieß zuverlässige quantitative Bestimmungen der Wärme gemacht hat, welche in einem Drahte frei wird, den der Entladungsschlag einer Leidner Flasche durchläuft, scheint auf den ersten Anblick ein Anhaltspunkt für diese Vergleichung gegeben, aber auch hier ist das Resultat der Betrachtung ein negatives.

Von der ziemlich bedeutenden Erwärmung ausgehend, welche der Entladungsschlag der Flasche in Metalldrähten hervorbringt, sollte man auf eine ziemlich bedeutende Quantität der hier in Wirkung tretenden Elektricität schließen; den auf Seite 118 angeführten Versuchen zufolge beträgt für $\frac{q^2}{s} = 1$ die Erwärmung in dem Platindraht des Luftthermometers 0,3787, oder in runder Zahl 0,4. — Jener Draht hatte einen Durchmesser von 0,072''' und eine Länge von 59,7''', wonach er ungefähr 60 Milligramm wiegt; eine Erwärmung dieses Drahtes um 0,4^0 erfordert also, wie man leicht berechnen kann, 0,000000768 Wärmeeinheiten.

Sehen wir nun, welche Wärmemenge in demselben Platindraht durch die galvanische Stromeinheit freigeworden wäre. — In der Einheit des Widerstandes erzeugt die Stromeinheit 0,0000176 Wärmeeinheiten in der Minute; der Leitungswiderstand jenes Platindrahtes ist aber, wie sich leicht berechnen läßt, gleich 6, folglich würden in ihm durch die Stromeinheit $0,0000176 \times 6 = 0,0001$ Wärmeeinheiten erzeugt worden seyn.

Die Erwärmung, welche der Entladungsschlag der Flasche für $\frac{q^2}{s} = 1$ in dem Platindraht hervorbringt, nämlich 0,000000768, ist also nahezu $^1/_{100}$ von derjenigen, welche die Einheit der Stromstärke in diesem Drahte in einer Minute erzeugt.

Wenn $s = 1$, d. h. wenn die Elektricität auf einer der seiner Zeit besprochenen Flaschen angehäuft wird, so muß q auch gleich 1 seyn; für $s = 1$ und $q = 10$, d. h. also wenn die Flasche durch 10 Funken der Maaßflasche unter den früher entwickelten Verhältnissen geladen wird, so muß also auch ihr Entladungsschlag in einem Metalldraht eine Erwärmung hervorbringen, welche nahezu derjenigen gleich ist, welche die Einheit der Stromstärke in 1 Minute in denselben Draht erzeugt. Um aber die Ladung $q = 10$ auf die Flasche zu bringen, wird wohl das Drehen der Maschine kaum eine Minute fortgesetzt werden müssen; bei oberflächlicher Betrachtung könnte man also, von Wärmeentwickelung ausgehend, zu dem Schluß kommen, daß durch das Drehen der Maschine in einer Minute nahezu eine Elektricitätsmenge erzeugt wird, welche der chemischen Einheit der galvanischen Stromstärke gleich ist.

Daß aber eine solche Vergleichung, oder vielmehr ein solcher aus dieser Vergleichung gezogener Schluß durchaus unzulässig ist, geht schon aus dem Umstande hervor, daß man mittelst der Elektrisirmaschine keine merkliche Wasserzersetzung erhält, während man mit Leichtigkeit 1 Kubik-Centimeter Knallgas pr. Minute erhalten müßte, wenn jener Schluß auf die elektrische Quantität der Elektrisirmaschine zulässig wäre.

Eine genauere Betrachtung zeigt aber auch bald, daß der Entladungsschlag der Flasche und der galvanische Strom unter ganz verschiedenen nicht vergleichbaren Umständen erwärmend auf den Draht wirken.

Dieselbe Flaschenladung, in längerer Zeit durch einen Draht entladen, bringt in demselben eine geringere Erwärmung hervor, und die Erwärmung wird unmerklich, sobald die Entladungszeit eine meßbare Dauer erhält; wenn man also die Elektricitätsmenge, welche durch minutenlanges Drehen der Maschine auf einer Flasche angehäuft bei ihrem Entladungsschlag den Draht merklich erwärmt, wenn man dieselbe Elektricitätsmenge sich in continuirlichem Strom während einer Minute durch den Draht entladen läßt, so ist die durch diesen Strom bewirkte Erwärmung unmerklich. — Ein solcher Strom aber ist allein mit dem galvanischen vergleichbar. Um die Maschinenelektricität mit der galvanischen in Beziehung auf Quantität zu vergleichen, müßte man die Erwärmung messen können, welche die von dem Conductor der Maschine durch einen Metalldraht abfließende Elektricität in demselben hervorbringt. Die momentane Entladung einer angehäuften Elektricitätsmenge kann nicht direct

mit einem continuirlichen Strome verglichen werden. Daß bei der Wärmeentwickelung des Entladungsschlages der Leidner Flasche der Vorgang ein ganz anderer ist, als bei der Erwärmung durch den galvanischen Strom, geht auch schon daraus hervor, daß es bei dem Entladungsschlag gar nicht allein auf die Quantität der Elektricität ankommt, welche durch den Draht entladen wird, sondern auch auf die Größe der Oberfläche, auf welcher sie vorher vertheilt war; bei der Erwärmung durch den Entladungsschlag kommen also noch Factoren in Betracht, von denen bei dem Strom gar nicht die Rede ist. Der galvanische Strom und der Entladungsschlag haben in Beziehung auf die Erwärmung von Metalldrähten nur das gemein, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektrischen Quantität und dem Widerstand des durchlaufenen Drahtes proportional ist.

156 **Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom.** Während über die Glüherscheinungen von Metalldrähten durch den Entladungsschlag der Leidner Flasche die schönen Arbeiten von Rieß Licht verbreitet haben, fehlt es an entsprechenden Untersuchungen über das galvanische Glühen, obgleich diese mit weniger Schwierigkeiten verbunden seyn dürften als jene. —

In der schon erwähnten Abhandlung Casselmann's: »über die galvanische Kohlenzinkkette, Marburg 1844«, findet sich auf Seite 43 folgende Bemerkung:

»Ein Platindraht von bedeutender Länge, als Schließungsdraht ange»wandt, wird nicht glühend, sondern erst dann, wenn er auf eine be»stimmte Länge verkürzt ist. Verkürzt man ihn aber darüber hinaus im»mer mehr und mehr, so bekommt man ihn zuletzt von einer Länge, bei »der er nicht mehr glühend wird, woraus hervorgeht, daß das Glühend»werden eines Schließungsdrahtes nur bei einem bestimmten Verhältnisse »seines Leitungswiderstandes zu dem Quantum der sich durch ihn hin»durchzwängenden Elektricität ein Maximum erreicht.«

Wenn der Strom einer Säule, durch einen Draht gehend, denselben glühend macht, so muß bei Verkürzung des Drahtes die Stromstärke wachsen, und es erscheint deshalb nicht recht glaublich, daß der stärkere Strom das kürzere Drahtstück nicht mehr glühend machen soll. Um über diesen Punkt einigermaßen Licht zu erhalten, stellte ich selbst eine Versuchsreihe an, da, wie bereits bemerkt, bis jetzt noch keine weiteren Untersuchungen über die Gesetze des galvanischen Glühens gemacht worden sind.

Meine Versuche waren folgendermaßen angeordnet. In dem Schließungsbogen der Säule *S* (Fig. 139 a. f. S.) war bei *H* ein sogleich näher zu beschreibender Drahthalter, bei *B* eine Tangentenbussole eingeschal-

tet. Bei Q befand sich ein Quecksilbernäpfchen, vermittelst dessen die Kette leicht geöffnet und geschlossen werden konnte.

Der Drahthalter ist Fig. 140 dargestellt. Auf einem Brette stehen zwei Messingsäulchen; an jedem derselben sind zwei Hülsen verschiebbar.

Fig. 139.

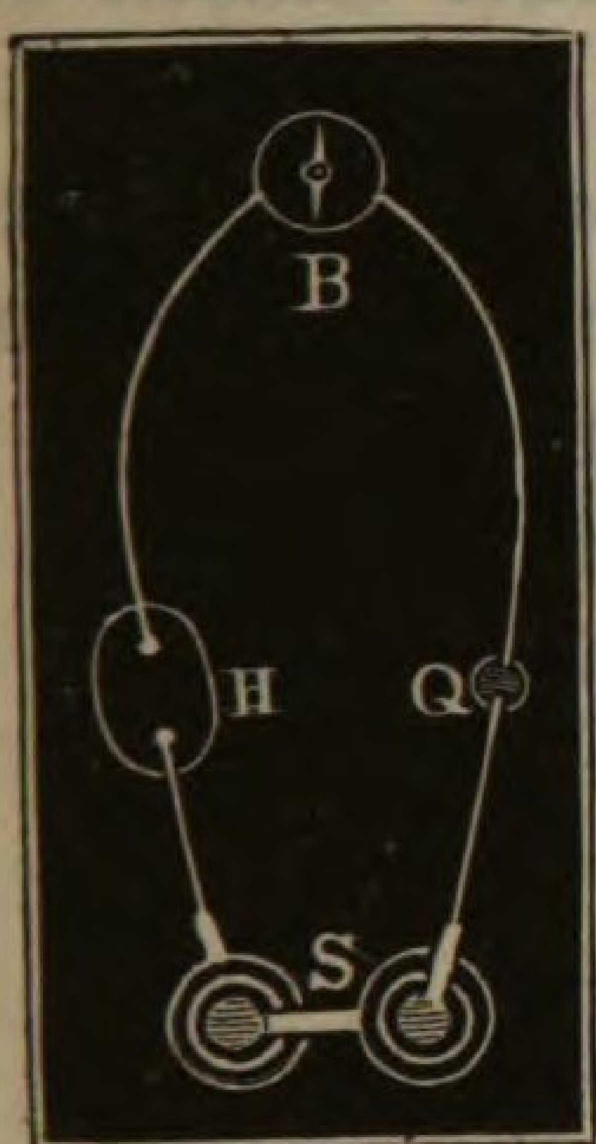
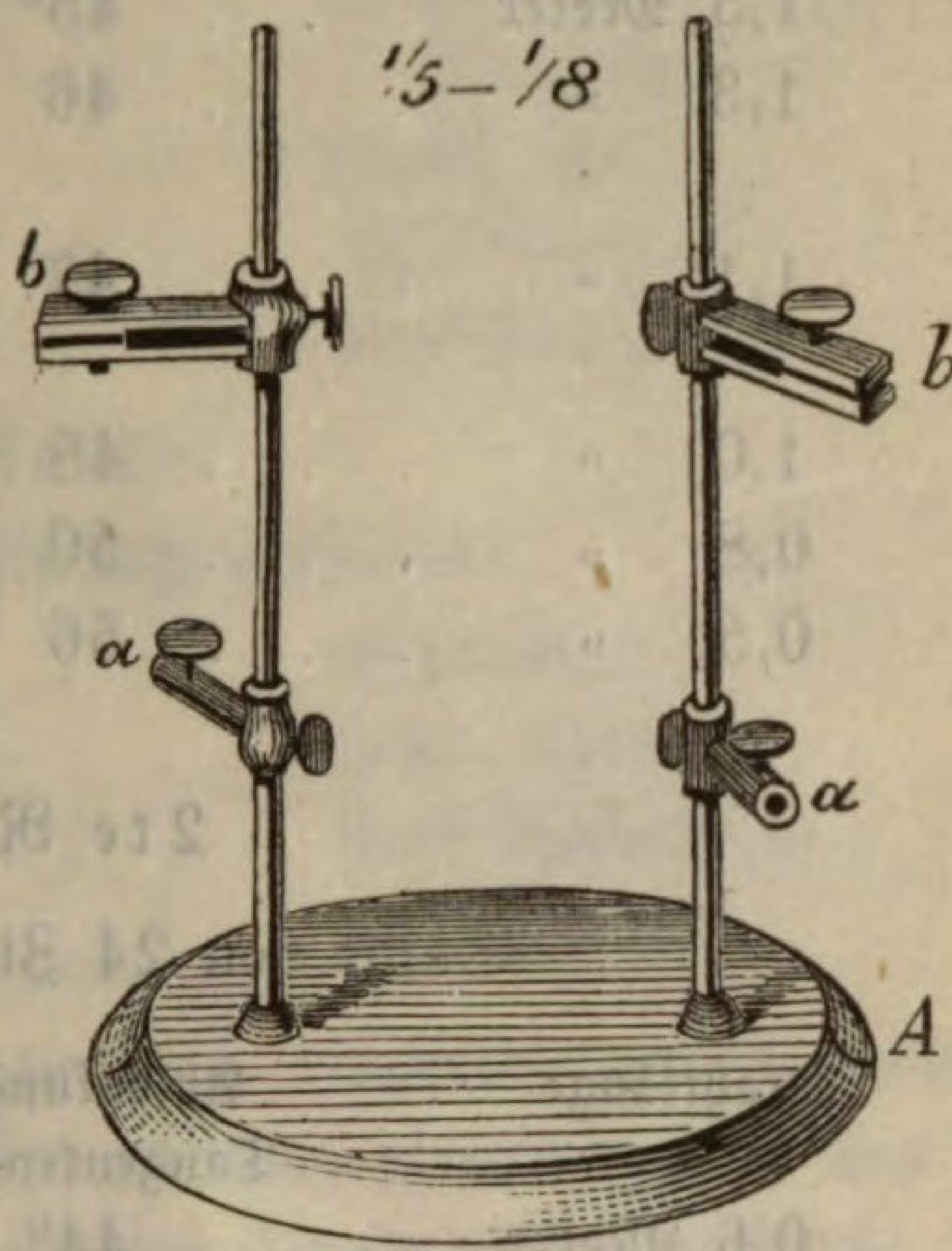


Fig. 140.



In die eine der Hülsen a wird der von dem einen Pole der Säule kommende Verbindungsdraht in die andere derjenigen eingeschraubt, welche nach der Tangentenbussole führt. Die Hülsen b dienten, um zwischen ihnen den Versuchsdraht auszuspannen, und zwar bevor die Kette geschlossen war.

Die Verbindungsdrähte zwischen S, H, B, Q und S waren Kupferdrähte von ungefähr $^3/_4$ Linien Dicke und einer Gesammtlänge von höchstens 5 Metern, so daß ihr Widerstand nicht bedeutend war.

Nachdem der Versuchsdraht bei H gehörig eingeschaltet und alle übrigen Verbindungen gehörig hergestellt waren, wurde bei Q geschlossen, und nachdem die Bussolennadel zur Ruhe gekommen war, gleichzeitig ihre Ablenkung und die Glüherscheinung des Drahtes beobachtet.

Der Gang der Versuche wird aus den folgenden Tabellen, welche die Beobachtungsresultate enthalten, von selbst klar werden.

Die drei ersten Versuchsreihen wurden mit Platindraht von $0{,}45^{mm}$ Durchmesser angestellt.

1ste Reihe:

Säule von 40 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbussole.	Glüherscheinung.
1,5 Meter . . .	45° . . .	0
1,3 » . . .	46 . . .	schwaches Glühen an einigen Stellen.
1,1 » . . .	47 . . .	schwaches Glühen der ganzen Länge nach.
1,0 » . . .	48 . . .	Rothglühen.
0,8 » . . .	50 . . .	Hellrothglühen.
0,5 » . . .	56 . . .	fast Weißglühen.

2te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbussole.	Glüherscheinung.
0,6 Meter . . .	44° . . .	0
0,5 » . . .	45 . . .	schwaches Glühen an einzelnen Stellen.
0,4 » . . .	46 . . .	desgl. stärker.
0,3 » . . .	48 . . .	Rothglühen der ganzen Länge nach.
0,1 » . . .	51 . . .	Hellrothglühen.

3te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbussole.	Glüherscheinung.
0,3 Meter . . .	46° . . .	schwaches Glühen fast der ganzen Länge nach.
0,3 » . . .	47 . . .	schwaches Glühen der ganzen Länge nach.
0,2 » . . .	48 . . .	Rothglühen.
0,1 » . . .	50 . . .	Hellrothglühen.

Zwei Versuchsreihen mit einem Eisendraht von 0,42mm Durchmesser geben folgende Resultate:

4te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge	Ablenkung der Tangentenbussole	Glüherscheinung
1^m	32^0	Stellweises Glühen
0,8	33	Noch nicht der ganzen Länge nach
0,6	34	Rothglühen
0,4	35	Hellrothglühen
0,3	—	abgeschmolzen.

5te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

0,5	32	Stellenweise
0,4	33	desgl. stärker
0,2	35	stark Rothglühen
0,1	—	abgeschmolzen.

Bei den Versuchen mit Eisendraht ist zu bemerken, daß bei jedem einzelnen Versuch ein neues Stück Eisendraht eingeschaltet wurde, weil durch das Glühen die Oberfläche oxydirt, also der Draht verändert wird.

Diese Versuche zeigen uns, daß ein und derselbe Draht dieselbe Glüherscheinung bei derselben Stromstärke zeigt, welche Länge er auch haben mag.

Für den Platindraht von $0{,}45^{mm}$ Durchmesser tritt ein stellenweises Glühen bei einer Stromstärke ein, welche der Ablenkung von 45 bis 46^0 entspricht. Mit 40 Elementen bewirkt man diese Wirkung an einem Drahtstück von 1,3 Metern, mit 24 Bechern an einem 0,5 Meter, und mit 12 Bechern an einem 0,4 Meter langen Drahtstück.

Das Rothglühen tritt in allen drei Versuchsreihen bei einer Stromstärke von 48 Graden auf, während bei der ersten die Drahtlänge 1^m, bei der zweiten $0{,}3^m$ und bei der dritten 0,2 Meter beträgt.

Das Hellrothglühen tritt bei einer Stromstärke von 50 bis 51^0 auf.

Ganz ähnlich sind die Resultate, welche die Versuche mit dem Eisendraht geben. Stellenweises Glühen findet bei einer Stromstärke von 32 bis 38^0 statt, starkes Rothglühen bei 35^0.

Diese Versuche zeigen also keine solche Sonderbarkeit, wie sie Casselmann anführt. Leider hat er keine nähere Angaben gemacht, aus welchen sich etwa der Grund der von ihm beobachteten Abnormität erklären ließe; ich vermuthe aber, daß sie in der starken Wärmeableitung durch Metallmasse der Drahtklemmen ihren Grund hat, welche bei bedeutend kürzeren Drähten einen sehr merklichen Einfluß ausübt.

Casselmann wandte einen Drahthalter an, welcher dem oben in Fig. 140 abgebildeten ähnlich ist. Beobachtet man einen in demselben befestigten Draht während er glüht genauer, so sieht man, daß er in unmittelbarer Nähe der Einklemmstellen weit schwächer glüht als in der Mitte; verkürzt man nun den Draht so weit, daß der abkühlende Einfluß der Klemmen sich bis in die Mitte des Drahtes erstreckt, so ist es wohl erklärlich, wie durch Verkürzung des Drahtes endlich eine Verminderung der Glüherscheinung eintritt, wie dies auch aus folgender Beobachtung hervorgeht.

Ein Platindraht von 0,21mm Durchmesser wurde in den Schließungsbogen eines einfachen Zinkkohlenbechers gebracht. Bei einer Länge von 3 Centimeter wurde er schwach glühend, während die Tangentenbussole 26° zeigte; als aber derselbe Draht bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, fand bei einer Stromstärke von 34° kein Glühen mehr statt.

Als statt des einen Elementes zwei Bunsen'schen Becher angewandt wurden, erhielt man für die beiden Drahtlängen von 3 und 1 Centimeter vollkommen gleiche Glüherscheinung, obgleich die entsprechende Ablenkung für den ersteren Fall 34, für den letzteren (den kürzeren Draht) 44 Grade betrug.

157 **Beziehungen zwischen Dicke und Stromstärke bei galvanisch glühenden Metalldrähten.** Die obigen Versuche geben über das Verhältniß zwischen Stromstärke und Durchmesser der Drähte, wie es einem bestimmten Grade des Glühens entspricht, noch keine Auskunft, weil nur die Länge, nicht der Durchmesser der Drahtstücke variirt wurde.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate einer Versuchsreihe, welche mit Platindrähten von 1 Decimeter Länge und veränderlichem Durchmesser angestellt wurden.

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70.tang.v$	$\frac{s}{D}$
0,3mm	schwaches Glühen	34°	47,18	163,9
»	Rothglühen	36	50,82	169,4
»	Hellrothglühen	38	54,67	182,2
»	sehr Hellglühen	42	63,00	210,0
0,39mm	schwaches Glühen	43°	65,24	163,7
»	Rothglühen	46	72,45	185,5
»	Hellglühen	48	77,77	199,5
*0,45mm	schwaches Glühen	47°	75,06	166,6
»	Rothglühen	48	77,77	172,2
»	Hellrothglühen	50,3	84,42	187,6
»	fast Weißglühen	56	103,74	230,3

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70 . tang. v$	$\frac{s}{D}$
0,75mm	Rothglühen	60°	121,24	161,7
„	Hellrothglühen	66	157,22	209,3.

Die mit * bezeichnete Abtheilung ist den früheren, auf Seite 386 angeführten Versuchsreihen entnommen.

Diese Versuchsreihe rechtfertigt die Annahme, daß, um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke dem Durchmesser der Drähte proportional wachsen muß; nach diesem Gesetze muß für denselben Grad des Glühens der Quotient der Drahtdicke in die entsprechende Stromstärke, eine constante Größe seyn. Dieser Quotient findet sich in der letzten Columne der vorigen Tabelle. Es ist demnach:

Für schwaches Glühen:

Beim Durchmesser		Abweichung vom Mittel.
0,3	163,9	— 0,8
0,39	163,7	— 1,0
0,45	166,6	+ 1,9
	Mittel 164,7.	

Für Rothglühen:

0,3	169,4	— 2,8
0,39	185,5	+ 13,3
0,45	172,2	0
0,75	161,7	— 10,5
	Mittel 172,2.	

Für helles Rothglühen:

0,3	182,2	— 12,4
0,39	199,5	+ 4,9
0,45	187,6	— 7,0
0,75	209,3	+ 14,7
	Mittel 194,6.	

Sehr helles Rothglühen, fast Weißglühen:

0,3	210	— 10
0,45	230	+ 10
	Mittel 220.	

Die Abweichungen vom Mittel sind sowohl der Größe, als auch dem Zeichen nach so unregelmäßig vertheilt, daß man sie wohl ohne Anstand

Beobachtungsfehlern zur Last legen kann. Daß diese Abweichungen etwas groß sind, sie wechseln bis zu 7 Procent des entsprechenden Quotienten, ist sehr begreiflich, wenn man bedenkt, daß die Grade des Glühens nicht gemessen, sondern nur geschätzt sind.

Eine, der eben besprochenen ähnlichen Versuchsreihe mit Eisendraht, gab folgende Resultate:

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s=70.tang.v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	19°	24,08	120,4
»	Roth	20	25,41	127,0
0,255	Schwach	24	31,15	122,1
»	Roth	25	32,62	127,9
0,38	Schwach	34	47,18	124,1
»	Roth	38	55,67	146,1
0,75	Schwach	52	89,6	119,4
»	Roth	56	103,74	131,3

Es ist demnach der Quotient $\frac{s}{D}$:

Für Schwachglühen:

Beim Durchmesser		Abweichung vom Mittel
0,2	120,4	— 1,1
0,255	122,1	+ 0,6
0,38	124,1	+ 2,6
0,75	119,4	— 2,1
	Mittel 121,5.	

Für Rothglühen:

0,2	127,0	— 7,8
0,255	127,9	— 6,9
0,38	146,1	+ 11,3
0,75	138,3	+ 3,5
	Mittel 134,8.	

Diese Versuchsreihe bestätigt also die Resultate, welche aus den mit Platindraht angestellten Versuchen gezogen worden waren.

Mit Kupferdraht wurden folgende Resultate erhalten:

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	48	77,77	388,8
„	Roth	52	89,60	448,0
0,255	Roth	59	116,48	418,3
	Mit Silberdraht:			
0,2	Roth (nach einiger Zeit abgeschmolzen)	51	86,45	432,2
0,255	Schwach	57	107,80	422,7.

Vergleichung der Gesetze des galvanischen Glühens mit den 158
Lenz'schen Erwärmungsgesetzen. Nach den von Lenz ermittelten Gesetzen wächst die in einem Metalldrahte frei werdende Wärmemenge im Verhältniß des Quadrats der Stromstärke und im Verhältniß des Leitungswiderstandes des Drahtes. — Bei gleicher Länge ändert sich aber oben der Leitungswiderstand im umgekehrten Verhältniß des Quadrats des Durchmessers.

Wenn also unter sonst gleichen Umständen die Stromstärke in demselben Verhältnisse wächst wie die Drahtdicke, so muß die entwickelte Wärmequantität unverändert bleiben.

Wenn aber in einem dickeren Drahte eben so viel Wärme entwickelt wird als in einem dünneren, so sollte man allerdings erwarten, daß der dickere nicht denselben Grad des Glühens erreichen könne wie der dünnere, weil in diesem Falle der dickere Draht mehr Wärme an die Umgebung abgiebt; um gleichen Grad des Glühens in einem *n*fach dickeren Drahte zu erhalten, sollte man also wohl einen mehr als *n*mal stärkeren Strom anwenden müssen, während nach den obigen Versuchen ein *n*facher Strom dazu genügt.

Bestimmen wir dies Verhältniß etwas näher. Nach den Oben besprochenen Untersuchungen von Lenz ist die Wärmeentwickelung, welche ein galvanischer Strom in Metalldrähten hervorbringt, dem Quadrat der Stromstärke und dem Leitungswiderstand des Drahtes proportional; wir könnnen demnach

$$W = s^2 l \; . \; . \; . \; . \; . \; 1)$$

setzen, wenn wir mit W die Wärmemenge bezeichnen, die in einem Drahte (innerhalb einer gegebenen Zeit) entwickelt wird, dessen Widerstand l ist, wenn die Stromstärke s hindurchgeht. Es sey nun W die Wärmemenge, welche in einer gegebenen Zeit in dem Drahte entwickelt werden muß,

wenn er rothglühend werden soll. — Wird nun der Draht durch einen gleichlangen, aber $n$mal dickeren Draht desselben Metalles ersetzt, so wird die Oberfläche dieses neuen Drahtes $n$mal so groß sein, die $n$fache Oberfläche giebt caeteris paribus $n$mal so viel Wärme an die Umgebung ab, es muß also $n$mal so viel Wärme, also $n\,W$, in dem dickeren Draht entwickelt werden, wenn er die gleiche Glüherscheinung hervorbringen soll.

Der Leitungswiderstand des $n$mal dicken Drahtes ist aber $\frac{l}{n^2}$. Bezeichnen wir mit s' die Stromstärke, welche ihn rothglühend macht, so haben wir also die Gleichung

$$n\,W = s'^2\,\frac{l}{n^2}\;.\;.\;.\;.\;.$$

also

$$W = s'^2\,\frac{l}{n^3}\;.\;.\;.\;.\;.\;2)$$

und durch Combination der Gleichungen 1) und 2)

$$s'^2 = n^3\,s^2$$

oder

$$s' = s\,\sqrt{n^3}\;.\;.\;.\;.\;.\;3)$$

um also einen doppelt und dreimal so dicken Draht glühend zu machen, hätte man dieser Betrachtung zufolge einen 2,83 und einen 5,19mal stärkeren Strom nöthig, während meinen Beobachtungen zufolge ein 2mal und ein 3mal so starker Strom dazu hinreicht; kurz meiner Beobachtung zufolge müßte zwischen s' und s anstatt der Gleichung 3) die Gleichung

$$s' = ns$$

bestehen. — Die Abweichungen sind viel zu bedeutend, als daß ich glaube sie auf Kosten von Beobachtungsfehlern setzen zu dürfen.

Wie dieser Widerspruch zu lösen sey, muß ich vor der Hand unentschieden lassen; es wäre wohl denkbar, daß bei dickeren Drähten und gleicher Stromstärke die äußerste Oberfläche allerdings eine soviel niedrigere Temperatur annehme, daß der Wärmeverlust nicht größer ist als bei einem dünnen Drahte, daß aber nach Innen die Temperatur so rasch wächst, daß die äußeren kälteren Schichten das Ansehen des Drahtes nicht zu ändern vermögen. — Geringe Differenzen werden durch die mangelhafte Schätzung des Glühens maskirt, es läßt sich also erwarten, daß sich Abweichungen von dem Oben entwickelten Gesetz in Beziehung auf die Dicke ergeben werden, wenn man den Durchmesser mehr variiren läßt, als es im obigen Versuchen der Fall war. — Ich beabsichtige diesen Gegenstand weiter zu verfolgen.

Die Gesetze des galvanischen Glühens und die des Glühens der Metalldrähte durch den Entladungsschlag der Leidner Flasche, weichen durch-

aus von einander ab; während die Stromstärke in gleichem, oder doch nahezu in gleichem Verhältnisse wachsen muß wie der Durchmesser, muß beim Entladungsschlag der Flasche die Ladung im Verhältniß der 4ten Potenz des Durchmessers wachsen, wenn der Grad des Glühens derselbe bleiben soll. Dieser Unterschied zeigt schon, daß das galvanische Glühen wesentlich anderer Natur ist, als das durch den Entladungsschlag der Flasche hervorgebrachte.

Bestimmung der Volta'schen Combination, welche man zum 159
Glühendmachen gegebener Metalldrähte anwenden muß. — Die oben erhaltenen Mittelwerthe des Quotienten $\frac{s}{D}$ geben die Größe der Stromstärke an, welche nöthig ist, um einen Draht von 1^{mm} Durchmesser in den entsprechenden Glühzustand zu versetzen.

Es ist also nöthig, um einen Platindraht von 1^{mm} Durchmesser

schwachglühend zu machen, die Stromstärke . . .	165
rothglühend » » » . . .	172
fast Weißglühend » » » . . .	220.

Es bedarf, um einen Eisendraht von 1^{mm} Durchmesser

schwachglühend zu machen, der Stromstärke . . .	121
rothglühend » » » » . . .	135.

Um einen Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser rothglühend zu machen, bedarf man der Stromstärke 433; für Silber ist dieser Werth 432.

Diese Zahlenwerthe betrachte ich selbst nur als erste Annäherungen.

Bezeichnet s die Stromstärke, welche nöthig ist, um einen Draht von 1^{mm} Durchmesser bis zu einem gewissen Grade glühend zu machen, so ist $s . d$ die Stromstärke, welche nöthig ist, um einen Draht desselben Metalls glühend zu machen, welcher den Durchmesser d hat.

Ist einmal die Stromstärke a bekannt, welche nöthig ist, um ein Drahtstück von gegebenem Durchmesser auf einen gewissen Grad glühend zu machen, und der Leitungswiderstand r, welchen das Drahtstück sammt dem übrigen Schließungsbogen ausübt, so ist es leicht zu berechnen, welche Combination Volta'scher Elemente von bekannter Natur man zu diesem Zwecke anwenden muß.

Es sei e die elektromotorische Kraft, w der wesentliche Widerstand eines der disponiblen Becher. Man hat sie so zu combiniren, daß sie eine Säule von n Elementen bilden, von denen jedes aus m nebeneinander stehenden Bechern gebildet wird. Es sind nun die Werthe von n und m zu bestimmen.

Die Becher müssen so combinirt werden, daß der Widerstand der Säule

dem Widerstande des Schließungsbogens gleich ist, der Gesammtwiderstand muß also $2r$ seyn. Wir haben also

$$\frac{ne}{2r} = a,$$

und

$$n = \frac{2\,r\,a}{e}.$$

Der wesentliche Widerstand unserer Säule ist aber

$$\frac{n}{m}\,w = r,$$

also

$$m = \frac{n}{r}\,w,$$

und wenn man für n seinen Werth setzt

$$m = \frac{2\,w\,a}{e}.$$

Man will z. B. einen Platindraht von 1,5 M. Länge und 0,5$^{\text{mm}}$ Durchmesser rothglühend machen, wieviel Bunsen'sche Becher von der elektromotorischen Kraft 800, und dem Widerstand 10 muß man anwenden, und wie muß man sie combiniren?

Der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 1$^{\text{mm}}$ Durchmesser und 1,5 Meter Länge ist 1,5. Der eines gleichen Platindrahtes ist 5.1,5 = 7,5. Der Widerstand eines halb so dicken Drahtes ist aber 4mal so groß, also 30. — Dies wäre der Leitungswiderstand des Drahtes bei gewöhnlicher Temperatur; bei der Rothglühhitze ist er mindestens doppelt so groß, also 60. Nehmen wir an, der Leitungswiderstand des übrigen Schließungsbogens könne gegen diesen vernachlässigt werden, so haben wir $r = 60$; ferner ist für unsern Fall $a = 172 \,.\, 0{,}5 = 86$. Es ist also

$$\frac{n\,.\,800}{120} = 86, \text{ also } n = 12{,}9,$$

$$\frac{12{,}9}{m}\,10 = 60, \text{ also } m = 2{,}1,$$

man wird also eine Säule von 13 Doppelelementen anwenden müssen.

Man ersieht aus diesem Beispiel, daß die Anordnung bei den auf Seite 386 angeführten Versuchen eben nicht die vortheilhafteste war.

Wollte man einen Kupferdraht von 1$^{\text{mm}}$ Durchmesser und 0,5 Meter Länge rothglühend machen, so wäre der Widerstand dieses Drahtes gleich 1, wenn wir annehmen, daß der Widerstand des Kupferdrahtes bei der Glühhitze doppelt so groß ist als bei gewöhnlicher Temperatur; wenn der übrige Leitungswiderstand des Schließungsbogens auch gleich 1 ist, so ist

der Gesammtwiderstand im Schließungsbogen = 2, a ist aber für diesen Fall 433, folglich

$$n = 2{,}16,\ m = 10{,}8.$$

Man hätte also eine Säule von 2 Elementen anzuwenden, von denen jedes aus 11 Bechern besteht.

Man müßte die Leitungswiderstände der Metalle für die Glühhitze genauer kennen, wenn diese Berechnungen einen größeren Grad von Genauigkeit erreichen sollten.

Im Allgemeinen wird man mehr Becher hinter einander anwenden müssen, wenn man längere und schlecht leitende, mehr Becher neben einander, wenn man dickere und gut leitende Drähte glühend machen will.

Glühen von Metalldrähten in verschiedenen Gasen. Grove 160
hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, daß ein in atmosphärischer Luft voltaisch erglühender Platindraht scheinbar erlöscht, wenn man eine Glocke mit Wasserstoff darüber stürzt. (Phil. Transact. f. 1847 pt. 1. P. A. LXXI, 196). Da der Leitungswiderstand eines stärker glühenden Drahtes größer ist als der eines schwächer glühenden, so war zu erwarten, daß caeteris paribus derselbe Draht in Wasserstoff einen stärkeren Strom leiten wird, als in atmosphärischer Luft.

Grove prüfte nun diese Consequenz auf folgende Weise; in den Schließungsbogen einer constanten Batterie wurde außer einem Platindraht, den man bequem mit einer Atmosphäre verschiedener Gase umgeben konnte, noch ein Voltameter eingeschaltet. Je nachdem sich nun der Platindraht in dem einen oder dem andern Gase befand, war die Stärke des Glühens sehr verschieden, gleichzeitig änderte sich aber auch die Stärke der Wasserzersetzung im Voltameter in der Weise, daß man in gleicher Zeit um so mehr Knallgas erhielt, je schwächer das Glühen des Drahtes war. Folgendes ist die Menge von Knallgas, welche das Voltameter in 1 Minute lieferte, wenn der Platindraht in einer Atmosphäre von nachbenannten Gasen sich befand.

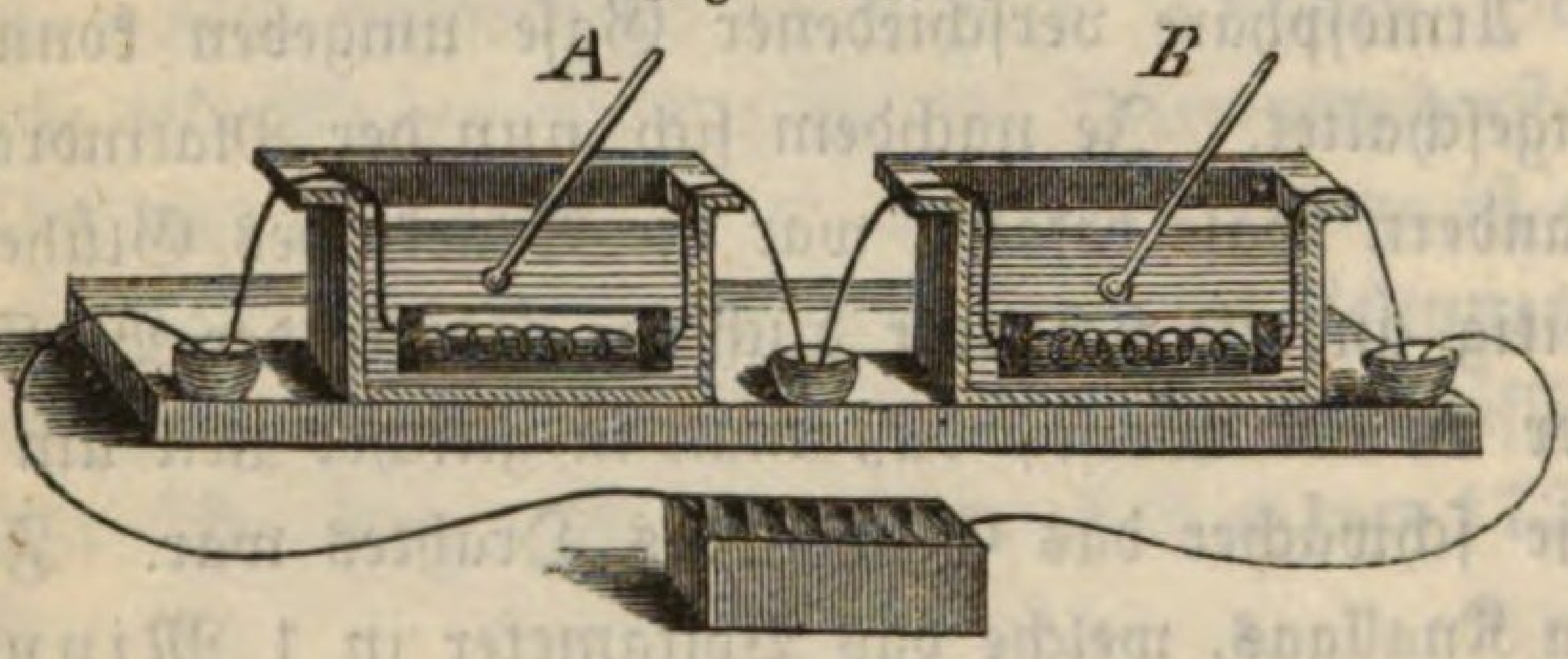
In Wasserstoffgas	7,7	Kubikzoll
Oelbildenden Gas	7,0	»
Kohlenoxydgas	6,6	»
Kohlensäure	6,6	»
Sauerstoff	6,5	»
Stickgas	6,4	»
Atmosphärischer Luft	6,4	»
desgl. doppelt verdichtet	6,5	»
desgl. verdünnt	6,3	»
Chlorgas	6,1	».

Mit dem Leuchten des Drahtes ist auch die in demselben erzeugte Wärme größer, wie folgender Versuch zeigt: Die Kugel eines Thermometers war in einem bestimmten Abstande von einem Drahtgewinde angebracht, welches durch eine Batterie von 4 Zellen ins Glühen versetzt wurde. Als sich das Drahtgewinde in atmosphärischer Luft befand, stieg das Thermometer in 5 Minuten um 15°, als aber die atmosphärische Luft durch Wasserstoffgas ersetzt wurde, betrug das Steigen in gleicher Zeit nur 7,5°.

Poggendorff spricht in einer Anmerkung die Meinung aus, daß die Erscheinung wohl mit der schon von Dulong und Petit gemachten Beobachtung zusammenhängen könne, daß ein erhitzter Körper im Wasserstoff schneller erkalte als in atmosphärischer Luft. Mir scheint diese Ansicht unzulässig; wenn der Draht in Wasserstoffgas die in ihm entwickelte Wärme schneller abgiebt, so müßte das Thermometer stärker steigen, wenn sich das Drahtgewinde in diesem Gas befindet, vorausgesetzt, daß gleich viel Wärme durch den Strom im Draht erzeugt wird, gleichgültig in welchem Gas er sich befindet.

Entscheidend ist jedoch dieser Versuch noch nicht, unzweideutig aber spricht gegen die von Poggendorff angedeutete Erklärung ein Versuch, den Grove in einem späteren, über denselben Gegenstand handelnden Aufsatze beschreibt. (Phil. Magazine XXXV, 114 P. A. LXXVIII, 366.) Zwei Glasröhren *A* und *B* Fig. 141, von 1,5 Zoll Länge und 0,3 Zoll innerem Durchmesser, waren an beiden Enden durch Korke verschlossen, in welche Kupferdrähte hineinreichten, deren Enden durch einen schraubenförmigen Platindraht von 1/80 Zoll Durchmesser und 3,7 Zoll Länge verbunden waren.

Fig. 141.



Die Röhre *A* war mit Sauerstoff, *B* mit Wasserstoff gefüllt, und beide so zubereitete Röhren waren in zwei getrennte, einander in jeder Beziehung ähnliche Gefäße getaucht, die 3 Unzen Wasser enthielten. In das Wasser eines jeden Gefäßes wurde ein Thermometer gebracht, und die Kupferdrähte so verbunden, daß sie hintereinander den Schließungsbogen einer constanten Zinkplatinbatterie von 8 Zellen, jede von 8 Quadratzoll wirkende Oberfläche bildeten.

Als die Kette geschlossen wurde, gerieth der von Sauerstoffgas umgebene Draht ins Weißglühen, während der in Wasserstoffgas befindliche nicht sichtbar glühte. Die Temperatur des Wassers, die zu Anfange des Ver-

suchs in jedem Gefäße 60° F. betrug, stieg innerhalb 5 Minuten in dem die Wasserstoffröhre umgebenden Wasser auf 70° F., in dem die Sauerstoffröhre umgebenden Wasser auf 81° F.

Als beide Röhren mit gleichen Gasen gefüllt waren, stieg das Thermometer in beiden Gefäßen gleich hoch.

Dieser Versuch beweist entschieden, daß das schwächere Glühen des Drahtes in Wasserstoff bei vollkommen gleicher Stromstärke nicht etwa darin zu suchen ist, daß das Wasserstoffgas dem Drahte seine Wärme schneller entzieht, sonst müßte ja gerade das Wasser sich schneller erwärmen, welches die Wasserstoffröhren umgiebt. Alles deutet darauf hin, daß in dem Drahte, wenn er von Wasserstoffgas umgeben ist, wirklich eine geringere Wärmeproduction stattfindet.

Grove hat bewiesen, daß diese Erscheinung nicht etwa von einer schwachen Elektricitätsleitung durch das Wasserstoffgas herrühre; ebenso hat er gezeigt, daß sie mit den sonstigen physikalischen Eigenschaften der Gase, Dichtigkeit, specifische Wärme u. s. w. nicht in Verbindung zu bringen ist.

Was die Erklärung dieser eigenthümlichen Thatsache betrifft, so giebt sich Grove viel vergebliche Mühe, ihr eine für das Verständniß zugängliche Seite abzugewinnen, und unbegreiflicher Weise kommt er selbst im Verlaufe seiner etwas breiten und dunklen Betrachtungen zu der Vermuthung, als ob die Verschiedenheit der Gase wohl ähnlich wirken könne wie eine Verschiedenheit in der Oberflächenbeschaffenheit. Es würde dies im Wesentlichen mit der oben besprochenen Pogendorff'schen Ansicht zusammenfallen. Als Poggendorff diese Ansicht aussprach, war der Versuch mit den zwei Glasröhren Fig. 141, welcher am entschiedensten gegen eine solche Annahme spricht, noch nicht bekannt; Grove aber spricht sich für dieselbe aus, nachdem er kaum selbst den Versuch angestellt und beschrieben hat, welcher die Unzulässigkeit dieser Erklärungsbasis darthut, welcher beweist, daß sich die Erscheinung nicht auf Differenzen in den Wärmeleitungs- und Strahlungsverhältnisse zurückführen läßt.

Nach meinem Dafürhalten steht die Erscheinung noch ganz isolirt, und völlig unerklärt da. — Ich halte es nicht für förderlich in solchen Fällen, unsere Unwissenheit durch gedehnte Betrachtungen zu verschleiern, in denen der physikalische Sündenbock unserer Tage, die Molecularwirkung, eine Hauptrolle spielen muß.

Einwirkung glühender Platindrähte auf verschiedene Gase. 161
Es ist eine bekannte Thatsache, daß mehrere zusammengesetzte Gasarten in glühenden Röhren eine Zersetzung erleiden. Aehnliche Wirkungen hat nun Grove durch die Einwirkung glühender Platindrähte auf solche Gase hervorgebracht. (Phil. Trans. f. 1847 pt. 1; P. A. LXXI, 194.) Folgende sind die Apparate, deren er sich zu diesem Zwecke bediente.

In das obere Ende einer Eudiometerröhre, Fig. 142, war ein Büge von Platindraht eingeschmolzen, von dessen beiden Enden Kupferdrähte zu den beiden Quecksilbernäpfchen führten, welche die Poldrähte der Batterie aufnahmen. — Das zu untersuchende Gas war durch Wasser gesperrt, und um eine zu starke Erhitzung des Glases zu vermeiden, war die ganze Eudiometerröhre in ein weiteres, mit Wasser gefülltes Gefäß getaucht. Das Wasser wurde zuweilen mit einer zolldicken Oelschicht übergossen.

Fig. 142.

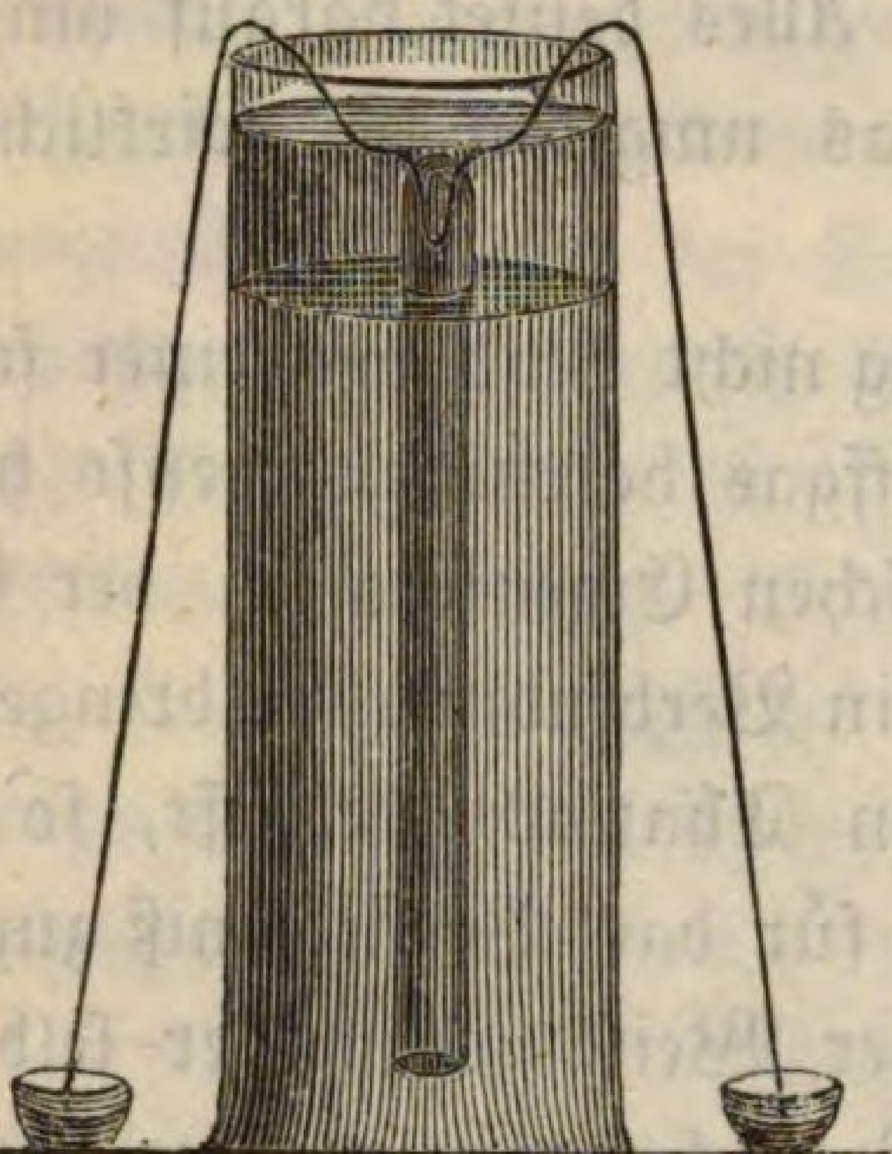
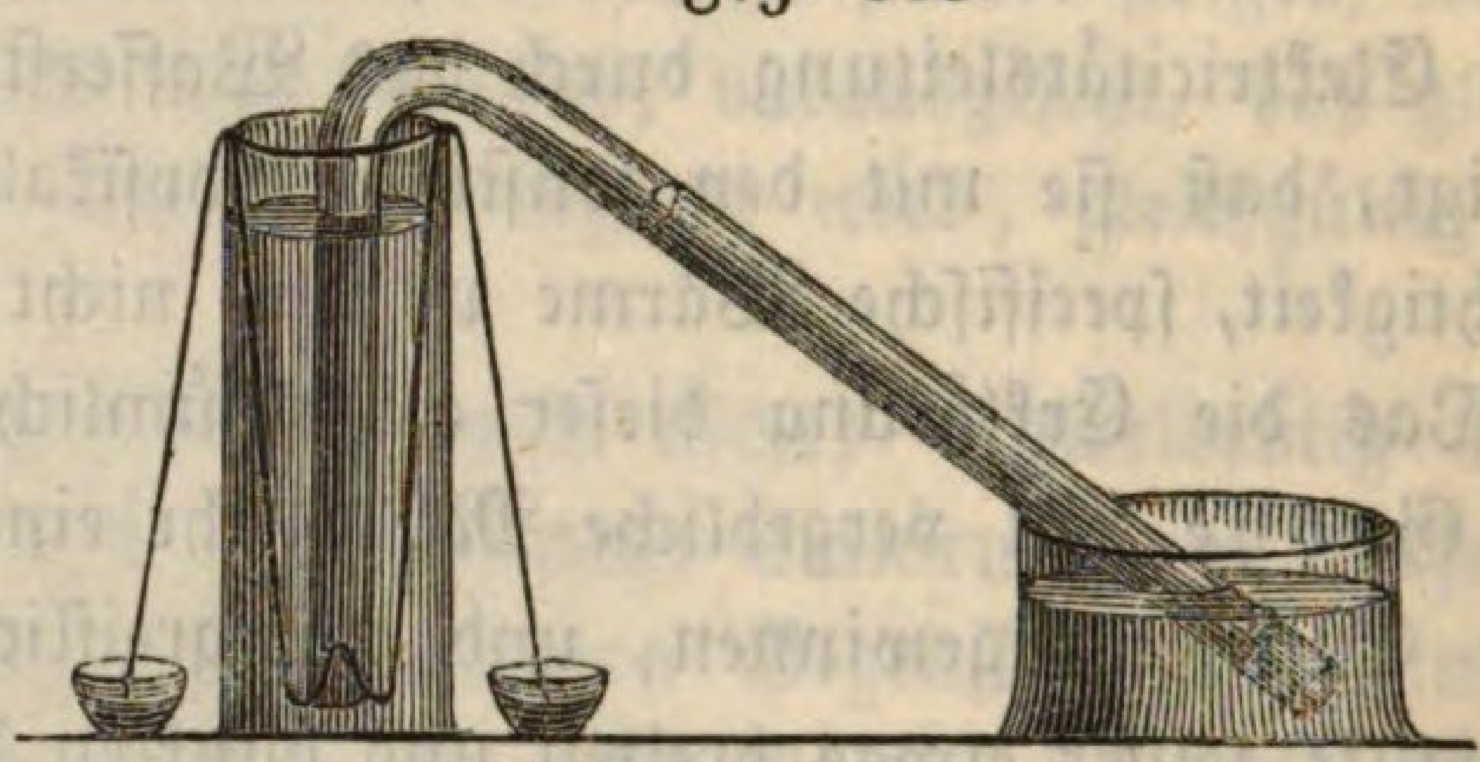


Fig. 143.



Wenn die Gase durch Quecksilber abgesperrt seyn mußten, oder wenn ein längeres Glühen nöthig war, so wurde der Apparat Fig. 143 angewandt. Die Eudiometerröhre ist hier gebogen, das verschlossene Ende derselben, welches den Platindraht enthält, ist nach Unten gekehrt in ein mit Wasser oder Oel gefülltes Gefäß getaucht, das offene Ende aber mündet in ein Gefäß mit Wasser oder Quecksilber, welches die Sperrflüssigkeit bildet. Mit diesen Apparaten wurden nun folgende Resultate erhalten.

Stickstoffoxyd zog sich über destillirtem Wasser im Verhältniß zur Hitze verschieden stark zusammen. (Es versteht sich, daß die Messung des Volumens erst nach vollständiger Erkaltung vorgenommen wurde.) Bei den besten Versuchen betrug die Zusammenziehung $1/3$ des ursprünglichen Volumens. Das rückständige Gas war Stickstoff, im Wasser fand sich Salpetersäure aufgelöst.

Stickstoffoxydul wurde in Stickstoff und Sauerstoff zerlegt; das Volumen vergrößerte sich um 0,35 des anfänglichen. Die volle Vergrößerung um 0,5 konnte nicht erreicht werden.

Kohlensäure erlitt keine wahrnehmbare Veränderung.

Ammoniak vergrößerte sich zum doppelten seines ursprünglichen Volumens; das Gas war nun nicht mehr von Wasser verschluckbar, und bestand aus 3 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Stickstoff.

Oelbildendes Gas zog sich etwas zusammen und setzte Kohle ab.

Der Rückstand war Wasserstoff und ölbildendes Gas; je größer die Hitze, desto mehr Wasserstoff wurde gebildet.

Stickgas blieb unverändert.

Sauerstoff erlitt eine schwache Zusammenziehung, etwa $1/_{50}$ seines Volumens betragend, was wohl einem geringen Gehalt an Wasserstoff zuzuschreiben ist.

Chlor gab über Wasser weiße Dämpfe, und an der Wandung der Röhre, nahe beim Platindraht, sammelte sich ein graugelbes unlösliches Pulver, welches einer späteren Untersuchung zufolge Platinchlorür ist. Der größere Theil des Chlors verbindet sich mit dem Wasserstoff des Wasserdampfes und die gebildete Chlorwasserstoffsäure wird vom Wasser absorbirt. Am Ende des Versuches ist das Gasvolumen fast auf die Hälfte zurückgeführt und der Rückstand ist Sauerstoff.

Aus Brom und Chlorjod entwickelt sich Sauerstoff (wie die Versuche mit diesen Körpern angestellt wurden, ist mir nicht recht klar geworden). Der Rückstand konnte nicht untersucht werden, da er sowohl Platin als Glas angriff.

Wasserstoffgas ergab eine sehr bedeutende Zusammenziehung, die in einigen Fällen bis auf $1/_{10}$ des ursprünglichen Volumens stieg. Die Ursache dieser Zusammenziehung ist eine kleine Menge Sauerstoff, welche dem Wasserstoffgas fast immer noch beigemischt ist. Phosphor in möglichst sorgfältig dargestelltes Wasserstoffgas gebracht, giebt Dämpfe von phosphoriger Säure, leuchtet im Dunkeln und giebt eine schwache Zusammenziehung. Aber dennoch findet hernach bei Anwendung des glühenden Drahtes eine fernere Zusammenziehung statt. Der Phosphor kann also noch nicht allen Sauerstoff aus dem Wasserstoffgas entfernen.

Nach dieser Erfahrung zweifelt Grove an der Richtigkeit der bisher ermittelten Werthe für das Atomgewicht des Wasserstoffs.

Nach diesen Versuchen dürfte es wohl sehr zweckmäßig seyn, bei eudiometrischen Versuchen anstatt des elektrischen Funkens den galvanisch-glühenden Platindraht anzuwenden.

Wasserstoff und Kohlensäure zu gleichen Volumen gemengt, wurden durch den glühenden Draht leicht afficirt. Sie zogen sich zu 0,48 ihres anfänglichen Volumes zusammen. Der Rückstand war Kohlenoxydgas. Es hatte sich demnach 1 Aequivalent Sauerstoff mit 1 Aequivalent Wasserstoff vereinigt.

Kohlenoxydgas zeigte eine merkwürdige Erscheinung. Rein und sorgfältig von Kohlensäure befreit, wurde es über destillirtem Wasser dem glühenden Drahte ausgesetzt, wobei sich das Volumen um $1/_5$ bis $1/_3$, je nach der Intensität des Glühens, vermehrte.

Wenn das Gas trocken und durch Quecksilber abgesperrt war, so trat diese Vergrößerung des Volumens nicht ein.

Demnach mußte die Erscheinung von Wasserdampf herrühren, und in der That stellte sich heraus, daß die Raumvergrößerung durch die Bildung von Kohlensäure veranlaßt war. — Durch Schütteln mit Aetzkali oder Kalkwasser wurde das Gas genau auf sein ursprüngliches Volum zurückgeführt; allein es zeigte sich jetzt gemengt mit einem Volum Wasserstoff, welches gleich war dem Volum der verschluckten Kohlensäure. — Dies erklärt sich so: Es verbindet sich ein Volum a des vorhandenen Kohlenoxydgases mit einem Volum $\frac{a}{2}$ Sauerstoffgas, welches durch Zerlegung von Wasserdampf gebildet wurde, und so entsteht durch diese Verbindung ein Volumen a von Kohlensäure. — Wenn aber $\frac{a}{2}$ Volumtheile Sauerstoffgas aus dem Wasserdampf ausscheiden, so müssen sich gleichzeitig a Volumentheile Wasserstoffgas gebildet und das Gesammtvolumen des Gasgemenges um a zugenommen haben. — Das Volumen der gebildeten Kohlensäure (welche durch Aetzkali oder Kalkwasser entfernt werden kann) muß gleich seyn dem Volum des gebildeten Wasserstoffgases, wie es der Versuch auch zeigt.

Vergleicht man diesen Versuch mit dem vorigen, so muß allerdings die sonderbare Umkehrung der Verwandtschaft unter so ähnlichen Umständen überraschen: in dem einen Falle war es Wasserstoff, welcher der Kohlensäure Sauerstoff entzog, um Wasser zu bilden und Kohlenoxydgas zurückzulassen, während im anderen Falle das Kohlenoxydgas dem Wasserdampf seinen Sauerstoff entzog, um Kohlensäure zu bilden und Wasserstoff zurückzulassen.

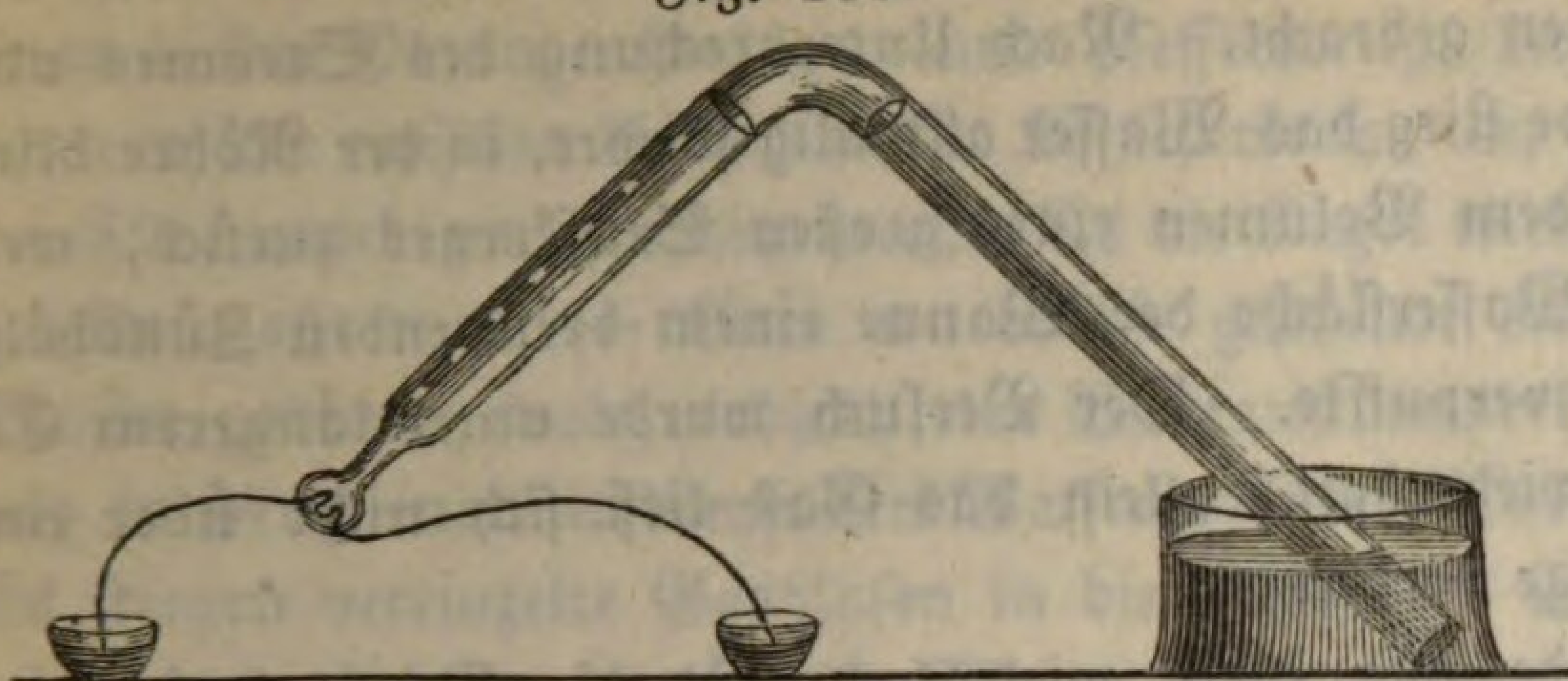
Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, eine nähere Einsicht in diese Vorgänge zu erlangen. — Der letzte Versuch, bei welchem also eine Zerlegung von Wasserdampf stattfand, führte Grove zu der Idee, ob es nicht möglich sey, durch den glühenden Platindraht auch Wasserdampf zu zerlegen und Knallgas zu bilden, was ihm auch in der That gelang, wie wir in dem folgenden Paragraphen sehen werden.

162 **Zerlegung des Wasserdampfes durch den glühenden Platindraht.** Die Zerlegung des Wasserdampfes in seine Bestandtheile bespricht Grove in demselben Aufsatz, welcher über die Einwirkung des glühenden Drahtes auf verschiedene Gase bespricht. Nach vielen vergeblichen Versuchen gelang diese Zersetzung durch folgenden Apparat.

Das gebogene an einem Ende offene Glasrohr, Fig. 144 a. folg. S., war an seinem andern Ende durch einen engen Hals mit einer Kugel

verbunden, durch welche der Platindraht so hindurchgeht, wie die Figur zeigt.

Fig. 144.



— Die ganze Röhre wurde mit luftfreiem Wasser gefüllt und das offene Ende in ein Gefäß mit Wasser getaucht. Bei Anwendung einer aus zwei constanten Zinkplatinzellen gebildeten Säule wurde zuerst die Luft in der Kugel ausgedehnt und ausgetrieben, so daß nun Wasser in dieselbe eintreten konnte, welches bald ins Sieden kam. In einem gewissen Zeitpunkt wurde der Draht glühend im Dampf. In diesem Augenblicke trat eine zitternde Bewegung ein und getrennte nadelknopfgroße Blasen stiegen auf und sammelten sich in der Biegung der Röhre. Es war keine stetige Gasentwickelung wie bei der Elektrolyse, sondern es schien eine Reihe rascher Stöße zu seyn; das Wasser, durch den engen Hals zurückkehrend, bildete eine natürliche Klappe, welche Portionen der Atmosphäre, welche den Draht umgab, durch intermittirende Wirkung abschnitt.

Das oben gesammelte Gas war Knallgas.

Daß diese Knallgasbildung nicht etwa einer Elektrolyse zugeschrieben werden könne, hat Grove genügend dargethan; ich hebe unter seinen Beweisen die wichtigsten hervor.

1) In destillirtem Wasser bringt eine Säule von 2 Bechern selbst unter den günstigsten Bedingungen nur eine kaum merkliche Elektrolyse hervor.

2) Die Zersetzung begann erst, als der Draht glühend wurde.

3) Als der Draht durchschnitten wurde, fand keine Gasbildung mehr statt.

Grove ging nun zunächst darauf aus, die Zersetzung des Wasserdampfes in einer solchen Form zu bewerkstelligen, daß der glühende Platindraht nur mit Wasserdampf in Berührung seyn konnte. Eine Glasröhre, welche wie die Fig. 145 an ihrem verschlossenen Ende einen eingeschmolzenen Bügel von Platindraht enthält, wurde mit Wasser gefüllt, welches durch längeres Sieden und Auspumpen möglichst vollständig von Luft befreit worden war, und dann in ein mit gleichem Wasser gefülltes Gefäß umgekehrt. Eine an das obere verschlossene Ende der Röhre

Fig. 145.



gebrachte Weingeistlampe bewirkte, daß sich daselbst Wasserdämpfe bildeten und der Platindraht nur von Wasserdampf umgeben war. Der Draht wurde nun ins Glühen gebracht. Nach Unterbrechung des Stromes und Entfernung der Lampe stieg das Wasser allmälig wieder, in der Röhre blieb aber eine Blase von dem Volumen eines großen Senfkornes zurück, welches, als es an der Wasserfläche der Wanne einem brennenden Zündhölzchen genähert wurde, verpuffte. Der Versuch wurde unter längerem Erglühen des Drahtes wiederholt, allein das Gas ließ sich nicht über eine sehr beschränkte Menge vermehren.

Der Versuch wurde wie eben wiederholt und die Gasblase in eine andere Röhre übergeführt; dann der Draht wiederum im Dampfe zum Glühen gebracht, die so gebildete Blase abermals entfernt und so fort, bis nach etwa 10stündiger Arbeit eine zur Analyse hinreichende Menge Gas vorhanden war. Dies Gas wurde nun in ein Eudiometer gebracht und verpufft; es hinterließ 0,35 seines ursprünglichen Volumens und dieser Rückstand war Stickgas. Der Versuch wurde nochmals mit demselben Erfolge wiederholt; zuweilen enthielt der Rückstand auch noch etwas Sauerstoff.

Hier ist die Elektrolyse völlig ausgeschlossen, der Draht glüht gewissermaßen im trockenen Dampfe.

Fig. 146.



Als in dem Apparate, Fig. 146, die Funken einer großen Hydroelektrisirmaschine zwischen Platinspitzen durch den Wasserdampf hindurchschlugen, wurde ebenfalls eine kleine Blase von Knallgas gebildet.

Wie bei den vorherigen Versuchen vergrößerte sich durch die Arbeit eines ganzen Tages die Blase nicht, wurde sie aber fortgeschafft, so bildete sich sogleich eine neue. Das Gas, auf ähnliche Weise gesammelt, ließ sich verpuffen und gab einen Rückstand von 0,4 seines ursprünglichen Volumens, bestehend aus Stickstoff mit einer Spur Sauerstoff.

Durch eine natürlich nur annähernd richtige Schätzung der Dampf- und Gasvolumina ergab sich, daß das gebildete Knallgas ungefähr $\frac{1}{2400}$ des Dampfvolums betrug.

G r o v e vermuthete, daß diese Knallgasbildung keineswegs eine specifische Wirkung der Elektricität sey, sondern daß sie lediglich durch die Hitze hervorgebracht werde, und in der That gelang es ihm auch, durch Hitze allein ohne Elektricität Wasserdampf zu zersetzen.

Mit Uebergehung der weniger gerathenen Versuche wollen wir uns

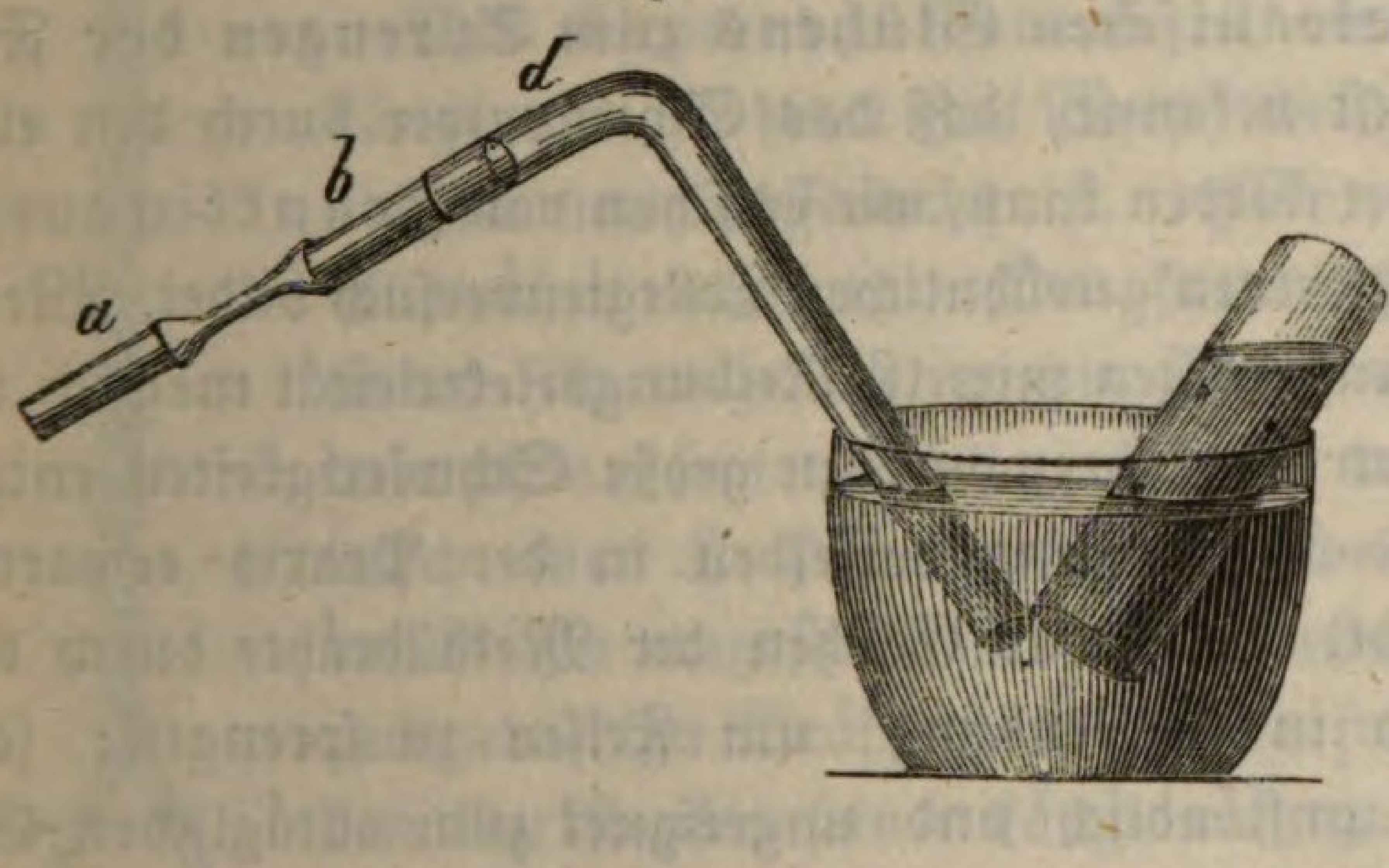
gleich zu denen wenden, welche ganz entscheidende Resultate gaben. Mit einer Batterie von 30 constanten Zinkplatin-Bechern wurde das Ende eines dicken Platindrahtes zu einer pfefferkorngroßen Kugel geschmolzen; dann wurde zwischen dieser und der Kohle, welche den negativen Pol bildete, der Flammenbogen hervorgebracht, bis die Kugel wiederum ihrem Schmelzpunkte nahe war. — Nun wurde die glühende Kugel rasch in luftfreies Wasser getaucht, welches durch eine Weingeistlampe kochend gehalten wurde und in dem eine mit demselben Wasser gefüllte Röhre umgekehrt stand. — Es stiegen vereinzelte Gasblasen in die Röhre. — Derselbe Proceß wurde wiederholt, bis eine genügende Menge Gas gesammelt war, welches verpuffte, einmal 0,4 ein anderesmal nur 0,25 des ursprünglichen Volumens als Rückstand ließ, welcher wie gewöhnlich Stickgas mit einer Spur Sauerstoffgas war.

Die galvanische Batterie diente hier offenbar nur, um die Platinkugel glühend zu machen. Vor dem Knallgasgebläse geschmolzen und glühend gemacht, brachte sie dieselbe Wirkung hervor. Es wurde auf diese Weise mehr als ein Kubikzoll Knallgas dargestellt.

Offenbar umgiebt sich die glühende Kugel, in Wasser eingetaucht, sogleich mit einer Dampfschicht, aus welcher sich dann die kleine Portion Knallgas abscheidet.

Um eine continuirliche Entwickelung der gemengten Gase aus einem bloß der Hitze unterworfenen Wasser hervorzubringen, construirte Grove den Apparat, Fig. 147,

Fig. 147.



a und *b* sind zwei silberne Röhren, 4 Zoll lang und 0,3 Zoll im Durchmesser, verbunden durch zwei Platinkappen mit einer Platinröhre, die aus einem der Länge nach durchbohrten Platindraht von 0,125 Zoll Dicke gebildet ist, und im Lichten nur den Durchmesser einer starken Stecknadel hat. *a* ist am Ende verschlossen, *b* durch einen umwickelten Streifen Blase mit der gebogenen Glasröhre *d* verbunden. Das Ganze wird mit luftfreiem Wasser gefüllt, und nachdem die Luft aus *a* durch Hitze ausgetrieben, wurde das Ende der Glasröhre in eine Schale mit siedendem Wasser gesteckt. Nun wird mittelst einer Weingeistlampe erst *b*, dann *a* erwärmt, bis das Wasser kocht; sobald das Sieden eingetreten ist, läßt man die Flamme eines Knallgasgebläses auf den mittleren Theil der Platin-

röhre spielen, und wenn dieser den höchsten Grad des Glühens erreicht hat, bildet sich Gas, welches, gemengt mit Dampf, bald den ganzen Apparat erfüllt und zum offenen Ende entweicht, entweder in die freie Luft oder in das Auffangglas.

Das so gesammelte Gas ließ bei der Verpuffung 0,3 seines Volumens Rückstand, welcher aus Stickgas und einer Spur von Sauerstoff bestand.

Daß in allen diesen Fällen Stickgas als Rückstand blieb, rührt daher, daß es bekanntlich höchst schwierig, ja fast unmöglich ist, das Wasser absolut von Luft zu befreien.

Diese Erscheinungsreihe ist höchst merkwürdig. Während das Knallgas unter dem Einfluß der Hitze sich zu Wasserdampf verdichtet, haben wir hier, freilich nur bis zu einer sehr begränzten Menge, gerade die umgekehrte Wirkung. Die Ermittelung der näheren Bedingungen und Beziehungen dieser Zerlegung des Wasserdampfes, welche etwa zu einer Erklärung des Phänomens führen könnte, müssen wir noch von der Zukunft erwarten.

Wenn Grove sagt: »daß diese Versuche hoffen lassen, in nicht ferner Zeit Knallgas zur Beleuchtung u. s. w. einfach dadurch zu bereiten, daß man siedendes Wasser durch stark erhitzte Platinröhren leitet, oder mittelst anderer Methoden«, so kann ich doch nicht umhin, mein Bedenken auszusprechen, ob, falls die Darstellung im großen Maaßstabe wirklich gelingen sollte, das so erhaltene Knallgas mehr Licht und Wärme geben kann, als das zu seiner Darstellung verbrauchte Brennmaterial.

163 **Anwendung des galvanischen Glühens zum Sprengen der Felsen.** Es ist schon längst bekannt, daß das Schießpulver durch den elektrischen Funken entzündet werden kann, wie es schon von Franklin ausgeführt wurde und noch jetzt einen gewöhnlichen Collegienversuch bildet. Wenn nun aber auch das Felsensprengen mittelst Reibungselektricität möglich ist, so stellen sich doch diesem Verfahren viel zu große Schwierigkeiten entgegen, als daß man die Verbreitung derselben in der Praxis erwarten könnte. — Hare brachte zuerst das Glühen der Metalldrähte durch den galvanischen Strom in Anwendung, um Felsen zu sprengen; sein Apparat war aber zu umständlich und ungeeignet zum alltäglichen Gebrauch für nicht wissenschaftlich gebildete Arbeiter, weshalb sein Verfahren keine große Verbreitung fand. In Folge der vielen Unglücksfälle, welche beim Sprengen in Bergwerken und Steinbrüchen vorkommen, widmete der Engländer Roberts dem Gegenstande seine Aufmerksamkeit. Nach vielen Bemühungen gelang es ihm, die Anwendung des galvanischen Stromes zum Felsensprengen so einfach zu machen, daß sein Verfahren allgemeine Anerkennung und Empfehlung verdient. Es ist zuerst im Mechanics Magazine, Mai 1842, S. 353 beschrieben (Dingler's po-

lytechnisches Journal, LXXXV. 275). In diesem Bericht können wir uns ziemlich kurz fassen, weil gar vieles von dem Inhalte jenes Aufsatzes als bekannt vorausgesetzt werden muß.

Um nicht erst für jede Explosion den feinen zwischen den Leitungsdrähten ausgespannten Eisendraht vorrichten zu müssen, erdachte Roberts Patronen, von denen man stets eine Anzahl vorräthig halten kann. Die Anfertigung der Patronen geschieht auf folgende Weise. — Zwei Kupferdrähte, jeder von 10 Fuß Länge, gegen 1 Linie dick und gut mit wohlgewichstem Baumwollen- oder Wollengarn übersponnen, werden dicht neben einander gelegt; an dem einen Ende werden dann die beiden Drähte auf eine Länge von 6 Zoll hin zusammengedreht, wie es Fig. 148 andeutet, bis auf zwei Hörner von etwas über 1/2 Zoll Länge, die am freien Ende gegen 1/2 Zoll von einander abstehen. Die freien Enden dieser Hörner werden nun von ihrer Bedeckung befreit und mit der Feile geputzt, und zwischen ihnen der feine Eisendraht ausgespannt. Seine Enden kann man auf die Enden der Hörner aufwickeln und mit Zinn festlöthen.

Fig. 148.



Der eiserne Entzündungsdraht wird natürlich bei jeder Explosion vernichtet; damit dies aber nicht auch mit den kupfernen Leitungsdrähten der Fall sey, werden die beiden Drähte zusammen dick mit Faden, wie es am oberen Ende der Figur angedeutet ist, und dann noch einmal mit feinem Binddraht umwickelt.

Der Körper der Patrone ist eine Zinnröhre von 3 Zoll Länge und 3/4 bis 1 Zoll Weite, welche zusammengelöthet und vollkommen wasserdicht ist. (Man könnte wohl auch eine Glasröhre nehmen.) Der feine Eisen- oder Stahldraht befindet sich ungefähr in der Mitte des Cylinders. Er wird dadurch an seiner Stelle erhalten, daß die gedrehten Drähte durch einen Kork hindurchgehen, welcher an dem einen Ende der Röhre eingesteckt ist. Das beste Verfahren, die zusammengedrehten Drähte hier gehörig festzuhalten, besteht darin, den Korkstopfen seiner Länge nach zu spalten, und ihn, nachdem die Drähte zwischen die beiden Stücke gelegt worden, in die Röhre zu zwängen. Da die zusammengedrehten Drähte doch etwas dick sind, so wird es doch gut seyn, vorher eine kleine Rinne in die Korkstücke einzuschneiden. — Ist der Kork so eingesteckt, daß die Hörner die Wand nirgends berühren, so wird er mit gutem Kitt überzogen. Robert's empfiehlt dazu einen Kitt, bestehend aus 1 Theil Bienenwachs und 2 Theilen Harz.

Nun wird von dem offenen Ende her die Röhre mit trockenem Jagd-

pulver gefüllt, und dann auch hier ein Kork eingesetzt, der wie der andere wohl verpicht werden muß.

Fig. 149 zeigt die ganze Patrone.

Wie die Patrone in das Bohrloch eingesetzt wird, zeigt Fig. 150. Nachdem es gehörig von Staub und Feuchtigkeit gereinigt worden ist, schüttet

Fig. 149.

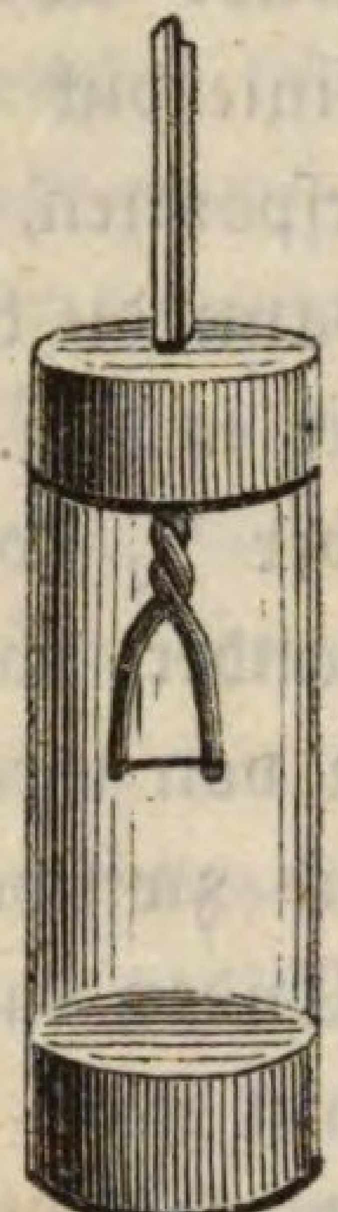
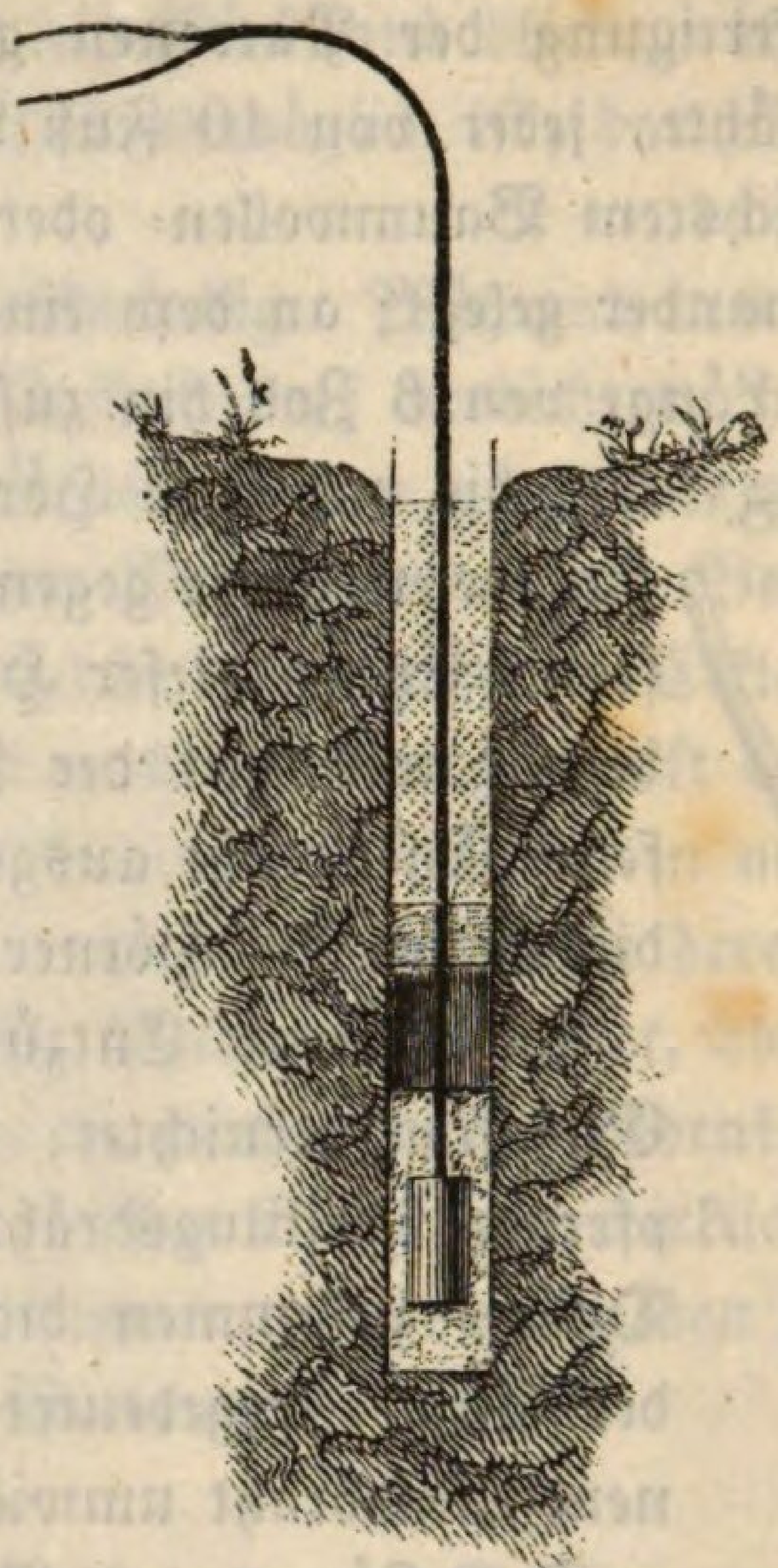


Fig. 150.



man die Hälfte der beabsichtigten Pulverladung in das Loch, legt die Patrone darauf und schüttet den übrigen Theil der Ladung darüber. Die Patrone befindet sich also in der Mitte der Ladung, und ihre langen zusammengewickelten Drähte stehen noch mehrere Fuß über den Felsen hervor. Das Pulver wird nicht eingestampft.

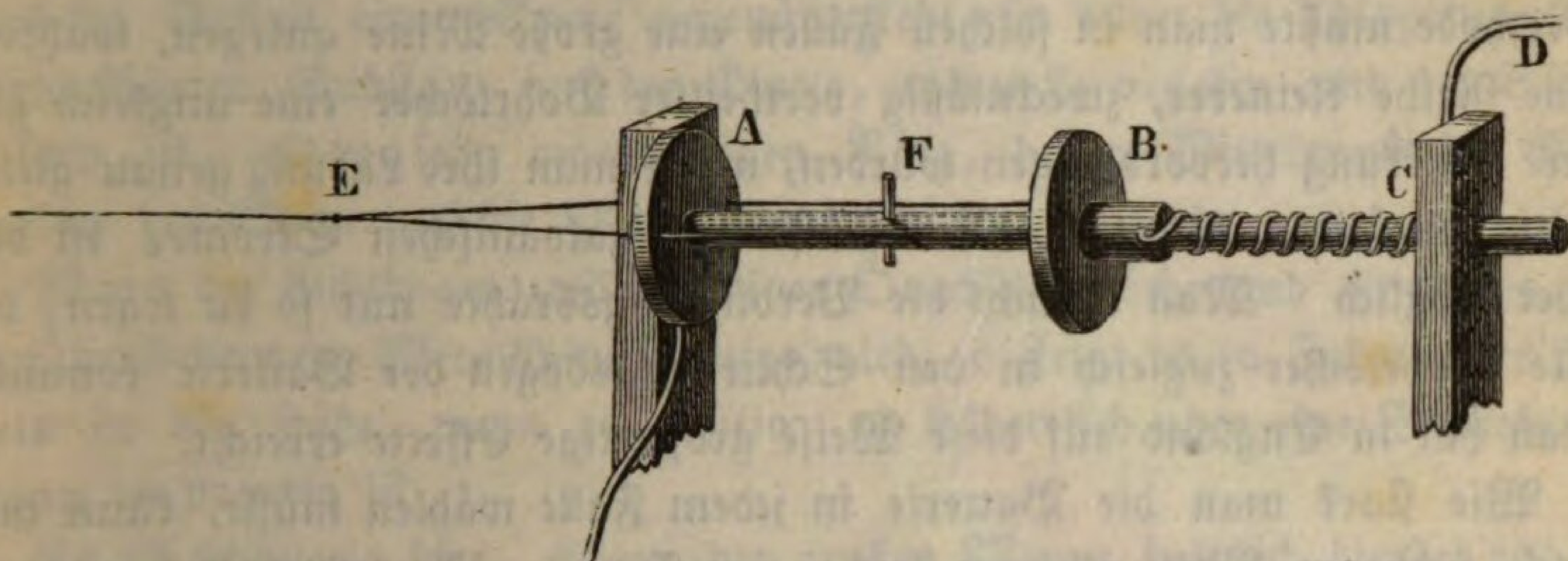
Nun wird ein Pfropf von Stroh oder Werg sanft in das Loch hinuntergeschoben, so daß ein lufterfüllter Raum, dessen Größe natürlich von den Umständen abhängt, zwischen ihm und dem Pulver bleibt. Auf den Pfropf wird trockner Sand geschüttet, bis das Loch voll ist.

Die beiden gabelförmig auseinander stehenden Enden der Patronendrähte müssen nun durch Zuleitungsdrähte mit der 60 bis 90 Fuß entfernten Batterie verbunden werden. Diese Zuleitungsdrähte sind gleichfalls übersponnene Kupferdrähte von ungefähr 1 Linie Durchmesser; sie sind gleichfalls nebeneinandergelegt und dann gemeinschaftlich mit Faden umwickelt; nur stehen ihre freien Enden auf beiden Seiten gabelförmig auseinander, um auf der einen Seite mit den Patronendrähten, auf der andern mit den Polen der Kette verbunden zu werden.

Die Person, welche die Schließung der Batterie, also die Entzündung der Mine zu besorgen hat, muß unter Umständen noch weiter von dem Bohrloche entfernt seyn, als die Batterie, man muß also eine Vorrichtung haben, um die Schließung der Kette aus der Ferne mittelst einer Schnur besorgen zu können.

Roberts hat zu diesem Zweck folgende Vorrichtung ersonnen. An zwei gegenüberstehenden Enden des Kastens, welcher die Batterie enthält, stehen hölzerne Pfeiler in die Höhe, welche oben durch einen cylindrischen Holzstab von 1 Zoll Durchmesser verbunden sind. An dem einen Ende desselben ist die Zinnscheibe *A*, Fig. 151, von 3 bis 4 Zoll Durchmesser

Fig. 151.



unverrückbar befestigt und an ihr ein Draht angelöthet, der zu dem einen, etwa dem positiven Pole der Batterie führt. Eine zweite Zinnscheibe *B*, welche der sicheren Führung wegen auf der von *A* abgewandten Seite mit einer Zinnröhre versehen ist, die sich mit der Scheibe auf dem Stabe leicht hin- und herschieben läßt, wird durch einen federnden, spiralförmig um den Holzstab herumgehenden, bei *C* befestigten Metalldraht von *A* entfernt gehalten. Das freie Ende *D* dieses Spiraldrahtes wird an dem einen Zuleitungsdraht befestigt, während der andere mit dem negativen Pole der Säule verbunden ist. So ist also die Scheibe *B* durch eine lange Drahtleitung, in welcher auch der feine Eisendraht sich befindet, mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung, *B* ist gewissermaßen der negative Pol der Kette, *A* aber der positive. Der Strom circulirt und macht den Eisendraht glühend, sobald *A* und *B* in Berührung kommen.

Um aus der Ferne die Platte *B* gegen *A* hinziehen zu können, sind in *B* zwei Löcher angebracht, durch welche eine Schnur hindurchgeht, deren Enden durch zwei entsprechende Löcher der Scheibe *A* gezogen, bei *E* miteinander verbunden sind. Von *E* geht dann eine längere Schnur zu dem Orte, an welchem die Person steht, die das Schließen der Kette zu besorgen hat.

Damit nicht etwa durch ein zu frühzeitiges zufälliges Ziehen an der

Schnur die Kette geschlossen werden kann, ist ein Holzstäbchen F zwischen A und B eingesteckt. Erst wenn dieses ausgezogen ist, kann durch Ziehen an der Schnur die Explosion der Mine bewirkt werden.

Außer der Verminderung der Gefahr hat diese Methode der Felsensprengung noch andere bedeutende Vorzüge; sie erlaubt ohne große Schwierigkeiten eine Entzündung des Pulvers unter Wasser vorzunehmen. Zu diesem Zweck befindet sich die ganze, zur Sprengung anzuwendende Pulvermasse, in wasserdicht verschlossenen Blechbüchsen, die nur an den gehörigen Ort zu bringen sind, um ihre Wirkung zu thun.

Ebenso bringt die Anwendung des galvanischen Glühens sehr große Vortheile, wenn große Massen wegzusprengen sind. Nach der früheren Methode mußte man in solchen Fällen eine große Mine anlegen, während eine Reihe kleinerer, zweckmäßig vertheilter Bohrlöcher eine ungleich größere Wirkung hervorbringen würden, wenn man ihre Ladung genau gleichzeitig anzünden könnte. Mit Hülfe des galvanischen Stromes ist dies aber möglich. Man braucht die Verbindungsdrähte nur so zu legen, daß alle Bohrlöcher zugleich in den Schließungsbogen der Batterie kommen; man hat in England auf diese Weise großartige Effecte erreicht.

Wie stark man die Batterie in jedem Falle wählen müsse, kann man nach früheren Mittheilungen leicht ermessen. — Aus §. 159 kann man entnehmen, wie groß die Stromstärke sein muß, um den dünnen Eisendraht weißglühend zu machen (natürlich muß man seine Dicke ermittelt haben), und wenn man den Widerstand der Drahtleitung berechnet hat, kann man leicht bestimmen, wie viel Volta'sche Becher oder Plattenpaare der einen oder der andern Einrichtung man anwenden muß, um diese Stromstärke zu erhalten.

164 **Der Volta'sche Lichtbogen.** Durch die Construction der constanten Kette, ist die Erzeugung des von Davy zuerst beobachteten Lichtbogens zwischen Kohlenspitzen ungemein erleichtert, und dieses interessante Phänomen auch mannichfach untersucht worden, obgleich hierin noch sehr viel zu thun übrig bleibt.

De la Rive hat sich mehrfach mit dem galvanischen Flammenbogen beschäftigt; einen größeren Aufsatz über diesen Gegenstand hat er in der Phil. Trans. f. 1847 pt. publicirt (P. A. LXXVI, 170), aus dem zunächst Folgendes hervorzuheben ist:

Der galvanische Lichtbogen läßt sich nicht nur zwischen Kohlenspitzen, sondern auch zwischen verschiedenen Metallspitzen erzeugen. Bei leicht schmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eisen, ist er größer als beim Platin oder Silber. Die Größe des Lichtbogens steht in Beziehung zur größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher

die Substanz der Elektroden sich zu zertheilen fähig ist; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Substanz von einer Elektrode zur andern erzeugt und erhalten wird, so muß seine Bildung nothwendig durch eine geringere Cohäsion der Elektroden begünstigt werden; deshalb kann man auch zwischen Kohlenspitzen, unter sonst gleichen Umständen, den größten Lichtbogen hervorbringen.

Die Fortführung der Substanz geschieht stets von dem positiven zu dem negativen Pole. In der Luft und bei metallischen Elektroden besteht der Absatz auf dem negativen Pol immer aus dem oxydirten Staub des Metalls der positiven Elektrode.

Giebt man dem einen Pol die Form einer Platte, welcher der andere Pol in Gestalt einer Spitze gegenübersteht, so bildet die Ablagerung der fortgeführten Substanz auf der Platte, wenn sie negativ und die Spitze positiv ist, einen sehr regelmäßigen Ring, dessen Mittelpunkt die Projection der Spitze auf die Platte ist.

Wenn der Lichtbogen zwischen einer Quecksilberfläche und einer ihr gegenüberstehenden Metallspitze erzeugt wird, so steigt es in Form eines Kegels in die Höhe, wenn es positiv, es bildet sich aber eine Vertiefung, wenn es negativ ist.

Es ist schwierig hier, wegen der großen Menge des sich hierbei bildenden Quecksilberdampfes, Details zu beobachten.

De la Rive stellte Versuche mit Platten und Spitzen von Platin, Eisen, Silber und Kupfer an, ich kann mich aber über die Einzelnheiten dieser Versuche nicht weiter auslassen, weil mir Manches unklar blieb; namentlich wollte es mir nicht gelingen, in den einzelnen Versuchen überall die Nachweisung und Begründung der so eben mitgetheilten allgemeinen Sätze herauszufinden. Eine Wiederholung dieser Versuche, und eine genaue, wo möglich durch Abbildungen erläuterte Beschreibung erscheint deshalb sehr wünschenswerth.

Leuchtkraft des galvanischen Flammenbogens. Ueber die Licht- 165
stärke des galvanischen Flammenbogens hat Casselmann Versuche angestellt, welche in der schon oben, S. 384, angeführten Abhandlung beschrieben sind, aus welcher sie auch in Poggendorff's Annalen übergingen (P. A. LXIII, 576). Das Photometer, welches er zu seinen Versuchen anwandte, war nach denselben Principien construirt wie dasjenige, welches ich in der dritten Auflage meines Lehrbuchs der Physik beschrieben habe (2ter Band, Seite 674). Die Kohlenstücke, zwischen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derselben Masse gebildet, welche zur Herstellung der Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette dient; jedoch waren sie noch auf verschiedene Weise präparirt worden, indem sie mit

Lösungen von salpetersaurem Strontian, Borsäure u. s. w. getränkt und nochmals stark geglüht wurden. Die so präparirten Kohlenstücke geben einen, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbten, sehr ruhigen Lichtbogen der (bei einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern) erst erlischt, wenn die Kohlenspitzen 7 bis 8 Millimeter von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle schon bei 5^{mm} Entfernung erlischt.

In den Strom war gleichzeitig eine Tangentenbussole eingeschaltet, so daß die jeder gemessenen Lichtstärke entsprechende Stromstärke gemessen werden konnte.

Die hellsten Punkte des ganzen Lichtphänomens sind bekanntlich diejenigen Punkte der beiden Kohlenstücke, auf welche der eigentliche Lichtbogen aufsetzt. Die folgende Tabelle giebt die jedem Falle entsprechende Lichtstärke der beiden hellen Punkte, sammt dem Bogen verglichen mit der Lichtstärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei möglichst großer Entfernung der Kohlenspitzen. — Die Werthe der Stromstärke sind bereits auf chemische Einheit reducirt.

	Entfernung der Kohlenspitzen	Stromstärke	Lichtstärke
Rohe Kohle	0,5^{mm} 4,5	95 68	932 139
Kohle mit salpetersaurem Strontian	0,5 6,75	120 88	353 274
Kohle mit Aetzkali	2,5 8	101 82	150 75
Kohle mit Zinkchlorid	1,0 5,0	80 67	624 159
Kohle mit Borax in Schwefelsäure	1,5 5,0	72 64	1171 165

Diese Tabelle zeigt uns, daß mit der Entfernung der Spitzen Lichtstärke und Stromstärke abnimmt. Durch die meisten der Substanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, ist der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine größere Entfernung der Kohlenspitzen möglich, aber keine größere Lichtstärke erzielt worden; dies ist nur der Fall bei der Kohle, die in eine Mischung von Borax mit Schwefelsäure getaucht war.

Uebrigens sind die Resultate, welche in dieser Tabelle aufgeführt wurden, nur annähernd genau, indem es bei der Veränderlichkeit der Lage, welche die blendenden Ausgangspunkte des Lichtbogens zeigen, es wohl vorgekommen sein mag, daß nicht die ganze Lichtstärke dem Photometer

zugewandt war. Bei einer folgenden Versuchsreihe, welche die nächste Tabelle im Auszug enthält, wurde dieser Fehler dadurch vermieden, daß mittelst eines Magnetstabes der Lichtbogen nach dem Photometer hin gerichtet wurde. In dieser Versuchsreihe, bei welcher nur 34 Bunsen'sche Becher angewandt wurden, blieb die Entfernung der Kohlenspitzen ungeändert, und die Lichtstärke wurde für verschiedene Stadien der Stromstärke gemessen.

	Stromstärke	Lichtstärke
	41	198
Kohle mit Borsäure	52	254
	57	298
	38	178
Kohle mit schwefelsaurem	41	203
Natron	52	346
	60	460

Die mit schwefelsaurem Natron getränkte Kohle war nach dem Eintauchen nicht mehr geglüht worden.

Diesen Versuchen zufolge wächst die Lichtstärke in einem etwas rascheren Verhältniß als die Stromstärke.

Leider haben wir gar keine Messungen über die Lichtstärke des galvanischen Flammenbogens, wenn man verschiedene Metalle anstatt der Kohlenspitzen anwendet.

Nach einer andern Seite haben Fizeau und Foucault vergleichende Versuche über die Lichtstärke des galvanischen Lichtbogens engestellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p. 370; P. A. LXIII, 463). Sie vergleichen nicht die Leuchtkraft, welche verschiedene Lichtquellen haben, sondern die Intensität ihrer chemischen Wirkungen. In dieser Beziehung vergleichen sie den galvanischen Lichtbogen mit dem Sonnenlicht und dem Lichte des in Knallgas glühenden Kalkes. Der Versuch wurde in folgender Weise ausgeführt: In einer camera obscura wurde eine jodirte Silberplatte an die Stelle gesetzt, an welcher das Bild der Sonne, des Kohlen- oder des Kalklichtes entsteht. Man ließ das Licht nur kurze Zeit wirken, verschloß die camera obscura mit einem Schirm, und drehte sie nun ein wenig seitwärts, so daß das Bild des leuchtenden Objectes auf der präparirten Silberplatte neben das erste fiel; man ließ nun das Licht etwas länger einwirken, auf eine dritte Stelle noch länger u. s. w. Die Platte wurde nun in den Quecksilberkasten gebracht und ermittelt, das wievielte Bild durch die Quecksilberdämpfe sichtbar gemacht wurde

Man erfährt auf diese Weise, wieviel Zeit nöthig ist, damit das Licht die zur Condensation der Quecksilberdämpfe erforderliche Veränderung der Jodsilberschicht hervorbringt.

Wären nun alle übrigen Umstände gleich, so würde die zur Hervorbringung des Daguerre'schen Bildes nothwendige Zeit der chemischen Intensität der Lichtquellen nahezu umgekehrt proportional seyn.

Fizeau und Foucault wandten aber zu ihren Versuchen mit Kohlen- und Kalklicht Linsen von kürzerer Brennweite an, als zur Erzeugung von Sonnenbildern; ebenso wurde die Oeffnung der Linsen durch vorgesetzte Blendungen variirt. Dieser Umstände muß also Rechnung getragen werden.

Ist das Bild $n$mal so weit von der Linse entfernt, so wird caeteres paribus das Bild in seinen linearen Dimensionen $n$mal größer seyn, es wird also eine n^2mal so große Fläche bedecken, die Lichtstärke an jedem einzelnen Punkte des Bildes wird also n^2mal geringer. Die chemische Kraft der Lichtquelle ist also dem Quadrat der Entfernung des Bildes von der Linse proportional zu setzen.

Sie ist aber auch, wie man leicht übersieht, umgekehrt der Fläche der Linsenöffnung, also dem Quadrate des Halbmessers der Linsenöffnung proportional zu setzen, wir haben also

$$J = \frac{d^2}{t \,.\, r^2},$$

wenn man mit J die (chemische) Lichtstärke der Lichtquelle, mit d die Entfernung des Bildes von der Linse, mit r den Halbmesser der Linsenöffnung, und mit t die zur Hervorbringung eines Daguerreschen Bildes erforderliche Zeit bezeichnet.

Bezeichnet man mit α den Winkel, unter welchem der Radius der Linsenöffnung von der Bildstelle aus gesehen erscheint, so ist

$$\frac{r}{d} = tang.\, \alpha,$$

also

$$J = \frac{1}{t \,.\, tang.\, \alpha}.$$

Nach dieser, oder vielmehr nach einer ähnlichen, etwas anders gestalteten, ihr aber äquivalenten Formel berechnen Fizeau und Foucault ihre Beobachtungsresultate, und erhalten folgende Verhältnißzahlen für die Intensität der Lichtquellen:

Sonnenlicht, im August und September bei reinem Himmel in den Mittagsstunden	1000
Kohlenlicht, durch 46 Bunsen'sche Zinkkohlenbecher erzeugt	235
Kalklicht	6,8.

Das Kalklicht erscheint hier überraschend gering, aber auch nach dem gewöhnlichen photometrischen Verfahren fanden Fizeau und Foucault ein ähnliches Verhältniß zwischen Kalk- und Kohlenlicht. Es sind nun eben keine andere vergleichende Messungen bekannt, welche ich mit diesen zusammenstellen könnte; um so mehr aber ist eine umsichtige experimentelle Prüfung derselben zu wünschen.

In Beziehung auf die Veränderung der Lichtstärke des Kohlenlichtes mit der Anzahl und Größe der galvanischen Elemente finden sich in jenem Aufsatze folgende Angaben. Während eine Säule von 46 Bunsen'schen Elementen die Lichtstärke 235 gab, stieg diese nun auf 238, als die Zahl der Becher auf 80 vermehrt wurde; eine Säule von 46 3fachen Bechern, die schon eine Stunde lang thätig gewesen waren, gab dagegen die Lichtstärke 385.

In Folge der raschen Veränderung der Flüssigkeit, indem sich nämlich die verdünnte Schwefelsäure mehr und mehr in einer Lösung von Zinkvitriol verwandelt, nimmt die Kraft der Säule und folglich auch die Intensität des Lichtbogens, den sie hervorzubringen vermag, rasch ab. Während 80 Becher anfangs die Lichtstärke 238 gaben, war dieselbe nach 3 Stunden nur noch 159.

Leider haben französische Physiker keine den Lichtstärken correspondirenden Messungen der Stromstärke gemacht, in deren Verbindung die obigen Verhältnißzahlen einen ungleich größeren Werth erhielten.

Wärmeentwickelung durch den galvanischen Flammenbogen. 166
Die Wärmeentwickelung an den Polen, zwischen denen der Lichtbogen übergeht, ist viel zu bedeutend, als daß man sie nur dem Durchgang des elektrischen Stromes durch diese Leiter zuschreiben könnte. Den auf Seite 390 angeführten Versuchen zufolge muß ein Strom, welcher einen Platindraht von 0,75^{mm} Dicke durchlaufend, denselben weißglühend machen soll, wenigstens die Stromstärke 160 haben. Um einen Platindraht von 3 Millimeter Durchmesser nur weißglühend zu machen, ist demnach wenigstens die enorme Stromstärke 640 erforderlich; und doch kann man mit dem Strom einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern bei einer Stromstärke von 80 bis 100 einen Flammenbogen erzeugen, durch welchen man an einen mehr als 3 Millimeter dicken Platindraht leicht eine Kugel anzuschmelzen vermag, wenn man ihn an die Stelle des einen Pols setzt, während der andere Pol fortwährend durch Kohle gebildet wird.

Die Verbrennung der Kohle findet hier in zu geringem Maaßstabe statt, als daß man ihr einen wesentlichen Antheil an der starken Wärmeentwickelung zuschreiben könnte, und zwar um so mehr, als die Schmel-

zung des Platindrahtes durch den galvanischen Flammenbogen im luftleeren Raum ebenso gut gelingt wie in freier Luft.

Außer der Wärme, welche der elektrische Strom in Folge seines einfachen Durchganges durch die Leiter in denselben hervorbringt, muß er also bei der Bildung des Lichtbogens auch noch in einer andern Weise Wärme erzeugend in den Polen desselben wirken, über die wir jedoch bis jetzt nichts Näheres wissen.

Die Wärmeentwickelung ist nicht gleich für die beiden Pole des Flammenbogens, sie ist stärker im positiven als im negativen. De la Rive führt für diese schon früher beobachtete Thatsache in der bereits auf Seite 408 angeführten Abhandlung noch folgende Beobachtungen an.

Wenn bei der Bildung des Lichtbogens eine positive Metallspitze einer negativen Metallplatte gegenüberstand, so wurde die Spitze durch und durch glühend, während sie im umgekehrten Fall nur an ihren Enden erhitzt wurde.

Stehen sich zwei Spitzen von gleichem Metall gegenüber, so wird die positive viel stärker und auf größere Entfernung hin glühend. Bestehen die beiden Spitzen aus verschiedenen Metallen, so glüht natürlich diejenige am stärksten, welche aus dem am schlechtesten leitenden Metall gebildet ist.

Hierher gehört noch eine Beobachtung von Walker, welche er mit einer Daniell'schen Batterie von 160 Bechern gemacht hat (Transact. of the Lond. electr. soc. p. 65 und 71; P. A. LV., 62). Er legt die Poldrähte über's Kreuz, doch so, daß sie nach der Berührung wieder etwas von einander entfernt werden, daß also ein kurzer Flammenbogen zwischen ihnen übergeht. Dabei wird das positive Drahtende vom Kreuzungspunkte an in dem Grade rothglühend, daß es erweicht und sich umbiegt, während der negative Draht verhältnißmäßig kalt bleibt.

Die großartigsten Versuche über die Wirkungen der Hitze des Flammenbogens hat Despretz angestellt. Er brachte in Paris 500 Zinkkohlen-Becher zusammen. Er stellte nun eine Säule von 124 Elementen zusammen, deren jedes aus 4 Bunsen'schen Bechern bestand. Als ein Stäbchen Zuckerkohle in einem bis auf 5 Millimeter evacuirten Glasballon zwischen die Pole des Flammenbogens gebracht wurde, kam es stark ins Glühen, und der Ballon überzog sich mit einem trocknen, krystallinischen, schwarzen Pulver. Kohle aus Gasretorten verhielt sich ebenso. — Es beweist dies eine Verflüchtigung der Kohle.

Despretz glaubt auch Spuren von Schmelzung der Kohle beobachtet zu haben; jedenfalls beweisen seine Versuche, daß die Kohle sich leichter verflüchtigen als schmelzen läßt. Er meint, daß sie in eine Atmosphäre von comprimirtem Stickgas in metallenen Gefäßen gelingen würde.

Aehnlich wie Kohle verhalten sich Kalk, Talkerde, das Zinkoxyd u. s. w.

Die Thonerde, der Rutil, Anatas, Nigrin, das Eisenoxyd u. s. w. geben anfänglich Kügelchen, gehen aber dann in Dunst über.

Bevor Despretz mit diesen 496 Bechern operirte, benutzte er eine Säule von 165 Elementen und combinirte die Hitze ihres Flammenbogens mit der des Knallgasgebläses und der durch eine Zonenlinse von 90 Centimeter Durchmesser concentrirten Sonnenhitze. Die Wirkung der galvanischen Säule wurde durch Hinzuthun dieser andern Wärmequellen erhöht. (Comptes rendus, Juli 1849, Nr. 3, Dingler's polytechnisches Journal, CXIV. 342.)

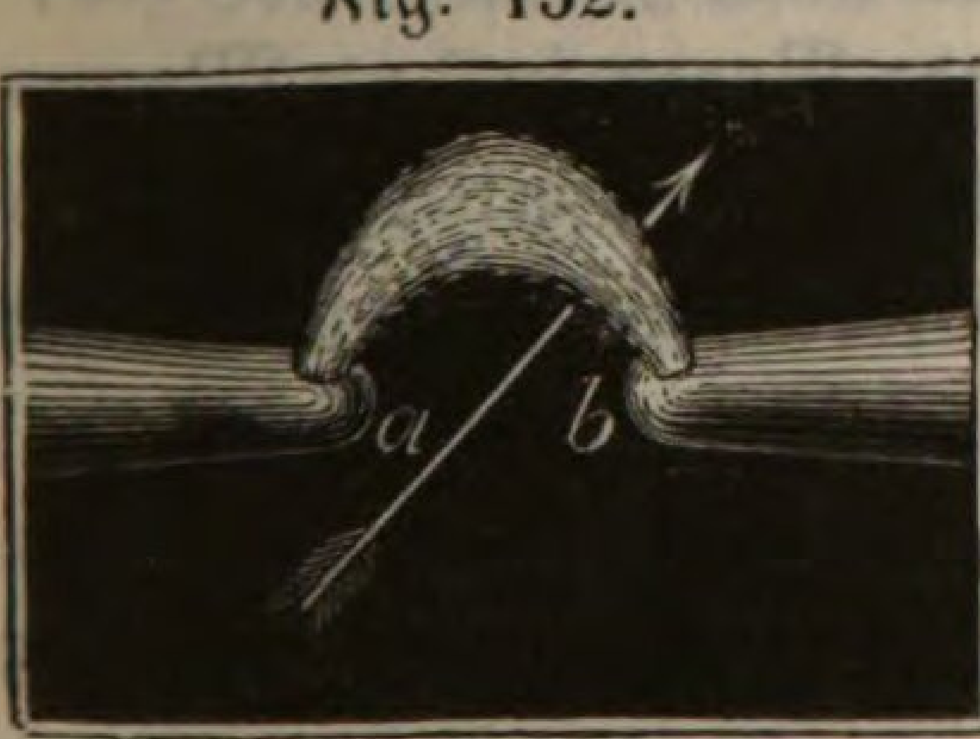
Einwirkung des Magnetismus auf den galvanischen Lichtbogen. 167

Daß magnetische Kräfte auf die Stellung und Gestalt des Lichtbogens einen Einfluß haben, hat schon Davy beobachtet, und es ist bekannt, daß der Lichtbogen von einem Magneten in derselben Weise afficirt wird, wie ein vom galvanischen Strom durchflossener beweglicher Leiter; es muß demnach auch der Erdmagnetismus auf denselben wirken. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen bestimmt, stets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen. Denkt man sich bei horizontal liegenden Kohlenspitzen durch die glühenden Anfangspunkte des Lichtbogens eine senkrechte Ebene gelegt, so wird in Folge der Wirkung des Erdmagnetismus auf den Lichtbogen, der höchste Punkt derselben nie in dieser Ebene, sondern auf der einen oder der andern Seite derselben liegen. Casselmann theilt in seiner schon auf Seite 384 erwähnten Schrift Versuche über diesen Gegenstand mit. Ging bei horizontal einander gegenüberstehenden Kohlenspitzen

der Strom von	so war die Abweichung des Gipfelpunktes nach
N nach *S*	*O*
W nach *O*	*N*
S nach *N*	*W*
O nach *W*	*S*.

Es läßt sich dies leicht ableiten. In Fig. 152 stellen *a* und *b* die beiden horizontal gegenüberstehenden Kohlenspitzen dar, zwischen denen sich der Lichtbogen bildet. Denken wir uns nun durch *a* und *b* eine Verticalebene und in der Mitte zwischen *a* und *b* rechtwinkelig auf dieselbe eine gerade Linie gelegt, wie dies durch den Pfeil angedeutet ist, so würde eine in dieser Linie liegende Stahlnadel durch den Strom des Lichtbogens magnetisirt werden, und zwar wird das Nordende der Nadel in

Fig. 152.



der Spitze des Pfeiles seyn, wenn der positive Strom von *a* durch den Bogen nach *b* geht. Durch den Einfluß des Erdmagnetismus wird aber das Nordende der Nadel gesenkt, und dem entsprechend muß also auch der Lichtbogen aus der Verticalebene heraus nach der Seite sich neigen, auf welcher sich das Nordende der Nadel befindet.

Liegt *a* westlich, *b* östlich, so muß also, wenn der Strom von *a* nach *b* geht, eine Neigung nach Norden erfolgen; ginge aber der Strom von Ost nach West, so würde das Nordende der fingirten Magnetnadel auf die Südseite des Lichtbogens zu liegen kommen, also eine Neigung des Bogens nach Süden erfolgen müssen.

Mit Hülfe dieser fingirten Magnetnadel kann man unter allen Umständen ableiten, wie sich der Lichtbogen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus oder eines Magnetpols verhalten wird, oder welche Stellung er einnehmen muß, wenn man ihn zwischen die beiden Pole eines Hufeisenmagneten bringt.

Wird statt des einen Kohlenpoles ein Magnetstab angewandt, so daß der Flammenbogen sich zwischen Kohle und Stahl bildet, so rotirt der Flammenbogen um den magnetischen Stahlpol nach denselben Gesetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen festen Magneten rotirt.

Die erste Notiz über diese Rotation des Flammenbogens giebt Walker in den Transactions of the London electrical society from 1837 to 1840. (P. A. LIV. 514.)

Auch de la Rive hat Versuche über den Einfluß des Magnetismus auf den Volta'schen Bogen und zwar nach einer andern Richtung hin angestellt; sie sind in dem bereits auf Seite 408 angeführten Aufsatz beschrieben.

Ich will hier die entsprechende Stelle aus de la Rive's Aufsatz selbst folgen lassen, und zwar deshalb wörtlich, weil sie ein charakteristisches Beispiel des Mangels an Präcision der Darstellung ist, wodurch das Verständniß seiner Aufsätze so sehr erschwert wird, wie ich dies bereits auf Seite 409 berührte.

»Wenn zwei Spitzen von weichem Eisen, die sich innerhalb Gewinden »von dickem Kupferdraht befinden, als Elektroden angewandt werden, so »verschwindet der zwischen denselben sich bildende Bogen in dem Momente, »als durch den Draht des Gewindes ein starker Strom geleitet wird, und »er erscheint wieder, ehe die Spitzen kalt geworden sind, so wie man diesen Strom aufhebt. Sobald die beiden Eisenspitzen magnetisirt sind, sey »es durch eine galvanische Wirkung oder durch einen kräftigen Magnet, »kann der Bogen zwischen ihnen nicht eher zu Stande kommen, als bis »man sie einander viel weiter nähert, wo dann aber die Erscheinung ein

»ganz anderes Ansehen hat. Die fortgeführten Theilchen scheinen sich »mit Schwierigkeit von der positiven Elektrode abzulösen, und Funken »sprühen mit Geräusch in allen Richtungen fort, während es im ersten »Fall ein lebhaftes Licht ohne Funken und ohne Geräusch war, begleitet »von dem anscheinend mit der größten Leichtigkeit geschehenden Uebergang »einer flüssigen Masse. Es ist in dieser Beziehung für das Resultat des »Versuchs von geringem Belang, ob die magnetisirten Eisenstäbe an ihren »zugewandten Enden, zwischen welchen der Lichtbogen befindlich ist, gleich- »oder ungleichnamige Pole besitzen.

»Wenn die positive Eisen-Elektrode stark magnetisirt ist, so bewirkt sie »im Moment, wo zwischen ihr und der negativen Elektrode, aus welchem »Stoff diese auch bestehe, der Lichtbogen zu Stande kommt, ein sehr star- »kes Geräusch, ähnlich dem scharfen Zischen, mit welchem der Wasserdampf »aus einer Locomotive entweicht. Dies Geräusch verschwindet gleichzeitig »mit der Magnetisirung.

»Um diese verschiedenen Erscheinungen besser zu trennen, stellte ich einen »Elektromagnet von großen Dimensionen und großer Kraft in solcher »Weise auf, daß ich an jedem seiner Pole oder zwischen beiden verschiedene »Metalle als eine der Elektroden der Säule anbringen konnte, während »eine Spitze von demselben Metall oder einer andern Substanz als die »zweite Elektrode diente. Auch wandte ich zwei Spitzen eines selben Me- »talls oder verschiedener Metalle unter gleichen Umständen als Elektroden »an. Folgendes sind die erhaltenen Resultate.

»Eine Platinplatte wurde auf einen der Pole des Elektromagneten ge- »legt und eine Spitze desselben Metalls vertical darüber aufgestellt. Die »Platte wurde positiv und die Spitze negativ gemacht, und der Volta'sche »Bogen zwischen beiden entwickelt. Im Moment, wie der Elektromagnet »in Thätigkeit gesetzt ward, ließ sich ein scharfes Zischen hören. Um den »Bogen zu unterhalten, mußte man die Spitze näher an die Platte brin- »gen, und der blaue kreisrunde Fleck, welcher sich auf der Platinplatte »zeigte, war größer als wenn man den Versuch ohne Einfluß des Elektro- »magnets anstellte.

»† Nun machte man die Platte negativ und die Spitze positiv; dadurch »wurde die Erscheinung eine ganz andere. So wie der Elektromagnet »geladen war, blieb der Lichtbogen nicht mehr vertical, sondern nahm eine »schiefe Richtung an, wie wenn er auswärts, gegen den Rand der Platte, »geschoben worden wäre. †† Unaufhörlich wurde er unterbrochen, jedes- »mal begleitet von einem scharfen und plötzlichen Geräusch, ähnlich dem der »Entladung einer Leidner Flasche. Die Richtung, in welcher der Lichtbo- »gen fortgeschoben wird, hängt von der Richtung des ihn erzeugenden

»Stromes ab, so wie auch von der Lage der Platte auf dem einen oder »andern der Magnetpole oder zwischen denselben.

»Eine Platte und eine Spitze, beide von Silber, Kupfer oder einem »andern nicht leicht schmelzbaren Metall zeigen im Allgemeinen dieselben »Erscheinungen. Kupfer und noch mehr Silber bieten indeß eine merk- »würdige Eigenthümlichkeit dar. Platten von diesen beiden Metallen be- »halten auf ihrer Oberfläche die Eindrücke der Wirkung, welche bei den »eben beschriebenen Versuchen stattfinden. Wenn z. B. die Platte positiv »ist, zeigt derjenige Theil ihrer Oberfläche, welcher unter der negativen »Spitze lag, einen Fleck in Form einer Spirale (helix), wie wenn das »daselbst geschmolzene Metall eine wirbelnde Bewegung um ein Centrum »gemacht hätte zur selben Zeit, da es in Form eines Kegels gegen die »Spitze gehoben ward.«

Der Anfang ist klar; nicht so die beiden letzten Absätze. Die Stelle zwischen † und †† läßt vermuthen, daß die schiefe Richtung des Lichtbogens nur dann eintritt, wenn die Platte negativ, die Spitze positiv ist; einige Zeilen später lesen wir aber, daß die Richtung, in welcher der Lichtbogen fortgeschoben wird, von der Richtung des erzeugenden Stromes abhängt; es muß also auch stattfinden, wenn die Platte positiv und die Spitze negativ ist. — Außerdem liegt in dieser Stelle eine dunkle Andeutung vom Rotiren des Flammenbogens, aber so dunkel, daß der, welcher von dieser Erscheinung nichts weiß, nach dieser Darstellung sicherlich keine Vorstellung davon erhält. Daß dem Genfer Physiker dies Rotiren bei Abfassung dieser Stelle wirklich vorgeschwebt habe, geht auch aus dem Schluß des letzten Absatzes hervor. — Aehnlichen Uebelständen begegnet man in de la Rive's Abhandlungen öfters; seine Beschreibung giebt selten ein klar verständliches Bild der Erscheinung. — Es ist sehr zu bedauern, wenn auf solche Weise die Resultate so mancher schönen und schwierigen Experimentaluntersuchung nur mangelhaft zur Kenntniß des physikalischen Publikums kommen.

168 **Benutzung des galvanischen Lichtes zur Beleuchtung.** Die große Lichtstärke des galvanischen Kohlenlichtes mußte bald auf die Idee führen, dasselbe zur Beleuchtung anzuwenden, nachdem durch die Erfindung der constanten Ketten die Erzeugung desselben gegen früher sehr erleichtert worden war.

Deleuil hat mehrmals öffentliche Versuche mit dieser Art von Beleuchtung angestellt. Das erstemal beleuchtete er den Pavillon eines Hauses an der Pont neuf in Paris mit 98 Zinkkohlenelementen. Acherau stellte ähnliche Versuche auf dem Concorde Platze an. (Dingler's polyt. Journal, 91. Band, S. 324.)

Wenn auch die Intensität des galvanischen Kohlenlichtes eine enorme ist, wenn auch eine Batterie von 48 Bunsen'schen Elementen ebenso viel Licht giebt, wie 63 gewöhnliche Gasbrenner, so erscheint doch das galvanische Licht zur öffentlichen Beleuchtung unpraktisch und zwar vorzugsweise aus folgenden Gründen.

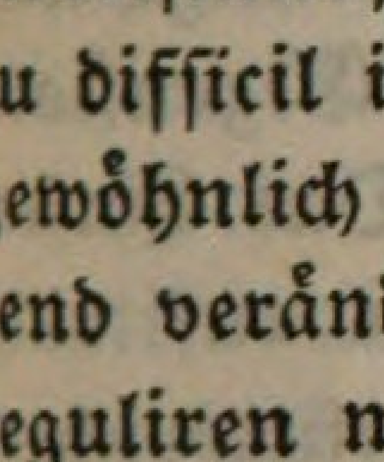
Eine ungeheure Lichtmenge geht hier von einem einzigen Punkte aus, man wird deshalb sehr schroffe Contraste zwischen Licht und Schatten erhalten; im Schatten herrscht eine Dunkelheit, die eben wegen des Gegensatzes zum blendenden Lichte um so störender ist. Jedenfalls erhält man eine angenehmere, gleichförmigere Beleuchtung, wenn man 63 Gasflammen gehörig vertheilt, als wenn man ein ihnen äquivalentes Licht auf einem Punkte concentrirt.

Ein zweiter Umstand, welcher der Anwendung des galvanischen Kohlenlichtes hinderlich ist, besteht in der Schwierigkeit, auf längere Zeit eine gleichmäßige Lichtstärke zu erhalten.

Durch die Bildung von Zinkvitriol nimmt die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit so stark ab, daß schon nach einer halben Stunde die Stromstärke bedeutend schwächer ist als anfangs; aber selbst davon abgesehen, ist die Unterhaltung der Batterie höchst kostspielig, denn es wird ungleich mehr Zink verzehrt, als zur Unterhaltung des Stromes nöthig ist, und die Salpetersäure wirkt zerstörend auf die Metallringe, welche die Kohlencylinder umgeben. — Den Uebelständen, welche die Anwendung der Salpetersäure mit sich bringt, ließe sich zwar durch Anwendung von Daniell'schen Elementen entgehen, dann aber müßte man die Batterie bedeutend vergrößern (Seite 299), um gleiche Wirkung zu erhalten.

Von ökonomischer Seite empfiehlt sich also die galvanische Beleuchtung von Straßen, Sälen, Theatern u. s. w. nicht. Dazu kommt noch der Uebelstand, daß die Behandlung der Säule und des ganzen Apparates zu difficil ist, als daß man sie den Personen anvertrauen könnte, welche gewöhnlich die Beleuchtung besorgen, daß die Kohlenspitzen sich fortwährend verändern, und man ihre gegenseitige Stellung also auch fortwährend reguliren muß, um die Gleichförmigkeit des Lichtes zu erhalten und sein Auslöschen zu verhindern. Durch mechanische Mittel ist diese Regulirung schwer zu erhalten; doch hat es in dieser Beziehung nicht an verschiedenen Vorschlägen gefehlt. So ließ sich z. B. le Molt im Jahre 1848 in England einen Apparat zur galvanischen Beleuchtung patentiren, in welchem Kohlenscheiben von der Form Fig. 153 statt der Kohlenstäbchen angewandt werden. Zwei solcher Scheiben stehen mit ihren scharfen Rändern einander gegenüber; ihre Axe wird durch ein Uhrwerk gleichmäßig umgedreht und ihre Entfernung durch eine Metallfeder regulirt.

Fig. 153.



Somit ist wohl schwerlich zu erwarten, daß die Anwendung des Galvanismus zur öffentlichen Beleuchtung praktische Erfolge haben wird. Sehr günstige Resultate haben dagegen die Versuche von Donné und Foucault geliefert, welche das Kalklicht des sogenannten Gasmikroskop durch das galvanische Kohlenlicht ersetzten.

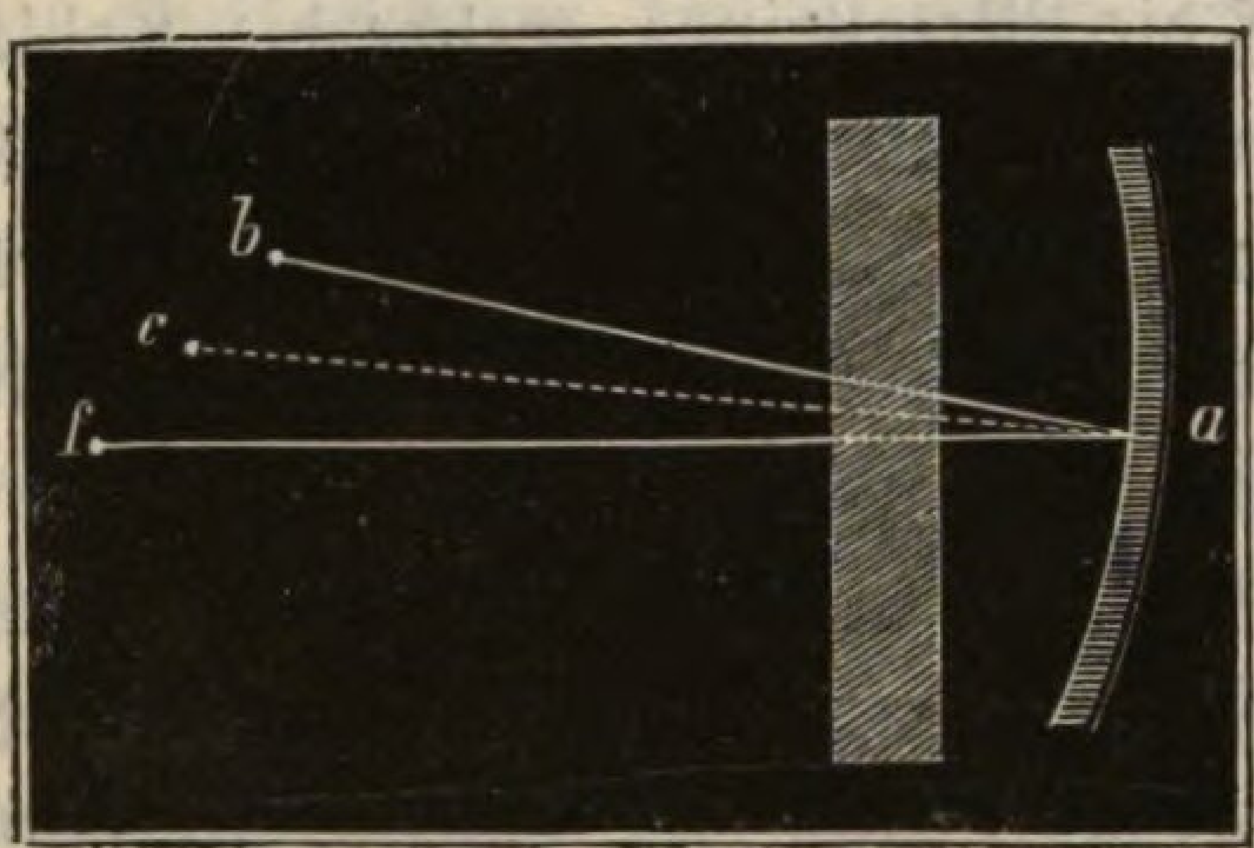
Eine ziemlich vollständige Beschreibung des photo-elektrischen Mikroskops von Donné und Foucault findet sich in der 4ten Auflage von Pouillet's Elémenls de physique expérimentale u. s. w., im zweiten Theil, S. 746. Wir müssen uns hier darauf beschränken, das Wesentlichste des Apparates anzudeuten. Der Lichtbogen wird zwischen Kohlenstäbchen erzeugt, die aus der harten Kohle geschnitten sind, wie sie die Gasretorten liefern; sie haben die in Fig. 154 dargestellte Form, und zwar ist das als negative Elektrode dienende Kohlenstück zugespitzt, das andere gerade abgestumpft. Diese Kohlenstücke sind so gefaßt, daß ihre Stellung leicht regulirt werden kann.

Fig. 154.



Wie der Beleuchtungsapparat dieses Mikroskops eingerichtet ist, kann der Hauptsache nach aus der schematischen Fig. 155 ersehen werden. *a* ist ein Hohlspiegel von ungefähr 1 Decimeter Oeffnung und 1,6 Decimeter Radius. Das Kohlenlicht befindet sich bei *b*, etwas näher bei dem Spiegel als dem Krümmungsmittelpunkte *c* desselben und etwas höher als *c*, so daß die von *b* ausgehenden auf den Spiegel fallenden Strahlen in *f* wieder vereinigt werden und hier den kleinen Gegenstand stark erleuchten, welcher vergrößert dargestellt werden soll. — Das Linsensystem, welches das vergrößerte Bild des kleinen Gegenstandes auf einer 4 bis 5 Meter entfernten Wand entwerfen soll, ist ganz so eingerichtet, wie bei einem Sonnenmikroskop.

Fig. 155.



Damit in *f* nicht eine zu große Hitze entsteht, ist zwischen *b* und dem Spiegel ein Gefäß angebracht, dessen Hauptwände durch Platten von geschliffenem Spiegelglas gebildet sind, und welches mit einer Alaunlösung gefüllt wird, welche einen großen Theil der Wärmestrahlen absorbirt, ohne die Lichtstärke merklich zu schwächen.

Man kann das durch den Hohlspiegel erzeugte Bild des Flammenbogens in *f* selbst zum Gegenstand nehmen, welcher durch die Linsen vergrößert dargestellt wird, nur muß man alsdann eine schwächere Vergrö-

ßerung anwenden. Man erhält so ein stark vergrößertes Bild des Flammenbogens auf dem weißen Schirme und kann mit Muße alle Erscheinungen beobachten, welche ihn begleiten.

Man kann das vergrößerte Bild des galvanischen Lichtbogens aber auch mit weit einfacheren Mitteln darstellen; man braucht ihn nur direct nahe an den Brennpunkt einer Linse von 1 bis 3 Centimeter Brennweite zu bringen. Natürlich muß man dafür sorgen, daß das Kohlenlicht so eingeschlossen ist, daß außer dem Linsenbild kein Licht auf den Schirm fällt. —

Galvanische Grubenbeleuchtung. Was von der galvanischen Be- 169
leuchtung im Allgemeinen gesagt wurde, gilt auch von den Vorschlägen zur Grubenbeleuchtung durch Galvanismus; es sind schwerlich viel praktische Erfolge davon zu erwarten. Weil man in einem luftleeren Glasgefäß, also ganz abgesperrt von der äußeren Luft, ja unter Wasser, das galvanische Kohlenlicht erzeugen kann, so glaubte Boussingault, es ließe sich wohl statt der Davy'schen Sicherheitslampe zur Beleuchtung solcher Gruben anwenden, in denen entzündliche Gase die Anwendung offener Lampen gefährlich macht. Allein man hat in den Gruben gar kein intensives Licht an einer Stelle, sondern nur schwache Lichte an sehr verschiedenen Stellen. Derselbe Einwand läßt sich gegen de la Rive's Vorschläge machen, welcher in einem hermetisch verschlossenen Glasballon den positiven Strom von einem vertical stehenden Kohlencylinder, zu einem senkrecht darüber angebrachten Metallcylinder übergehen läßt. (Dingler's polytechnisches Journal, XCVIII. S. 158 und 232; Moniteur industr. 1845, Nr. 961 und Nr. 965.)

Grove brachte statt des Kohlenlichtes einen galvanisch glühenden Platindraht in Vorschlag, welcher sich in einem hermetisch verschlossenen Glasgefäß befindet. (Dingler's polytechnisches Journal, XCIX. S. 201; Philos. Magazine, December 1845, S. 442.) Er giebt dem Platindraht die Form einer Spirale, was außer dem Vortheil, ein längeres Stück Platindraht auf einen kleineren Raum zu bringen, auch noch den Vortheil hat, daß wegen der geringeren Abkühlung bei gleicher Stromstärke die Platinspirale stärker glüht, als wenn dasselbe Drahtstück geradlinig ausgespannt würde.

Ueber die Länge und Dicke des zur Spirale verwendeten Platindrahtes giebt Grove nichts Näheres an, ebenso fehlen genauere Angaben über die Construction der Platinspirale; mit 2 bis 3 constanten Zinkplatinelementen erhält man auf diese Weise ein Stunden lang constantes Licht. Grove experimentirte bei diesem Licht; was er that, ist nicht angegeben, so daß also diese Notiz doch nur eine sehr mangelhafte Vorstellung von der Leuchtkraft des Apparates giebt. Zu Grubenarbeiten mag das Licht wohl

vollkommen ausreichen, und so ist dieser Vorschlag weit praktischer, als die Benutzung des Kohlenlichtes zur Grubenbeleuchtung, namentlich da man nur wenig constante Becher dazu nöthig hat, während das Kohlenlicht eine große Batterie in Anspruch nimmt; da aber auch dieser Apparat jedenfalls kostspieliger und schwieriger zu behandeln ist als die Davy'sche Sicherheitslampe, so ist in der Praxis wohl schwerlich eine große Verbreitung dieser Beleuchtungsmethode zu erwarten.

Statt der Platinspirale bringt King einen Streifen von ganz dünn gewalztem Platinblech in Anwendung, welchen er durch den galvalnischen Strom glühend macht. (London Journal of arts, Juni 1846, S. 348; Dingler's polytechn. Journal CI. S. 12.)

170 **Der galvanische Funke.** Die meisten Beobachter, welche über den galvanischen Lichtbogen Versuche angestellt haben, machten die Beobachtung, daß man erst die beiden Pole in Berührung bringen muß, wenn der Strom sich bilden soll. Waren die Kohlenspitzen einmal in Berührung, so kann man sie nun von einander entfernen, wobei sich dann der Lichtbogen bildet. — Die Bildung des Lichtbogens kann man auch anstatt der Berührung dadurch bewerkstelligen, daß man zwischen den Kohlenspitzen den Entladungsfunken einer Leidner Flasche überschlagen läßt, eine Beobachtung, die Daniell (Phil. Transact. 1839, 89; Pogg. Ann. LX. 379.), und vor ihm schon Sturgeon gemacht hatte (Ann. of El. VIII. 507; P. A. XLIX. 122.), welcher glaubt, daß dieser Versuch von J. Herschel herrührt. — Hier wird die Strombildung offenbar dadurch veranlaßt, daß der Funke leitende Partikelchen von einem Pol zum andern überführt.

Selbst die kräftigen Batterien, welche man zur Erzeugung des Lichtbogens anwandte, haben also noch keine hinreichende Spannung, um das Ueberspringen eines Funkens selbst auf die kleinsten Entfernungen möglich zu machen.

Jakobi hat sich durch genaue Messungen überzeugt, daß die Pole einer Säule von 12 Zinkplatinpaaren bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß ein Funken übersprang (Bulletin der Petersburger Akademie; P. A. XLIV. 633.).

Förmliche Funken hat Gassiot mit seiner großen Wasserbatterie erhalten (Phil. Transact. f. 1844. pt. I. p. 39; P. A. LXV. 476.). Diese merkwürdige Batterie bestand aus 3520 Bechern, deren jeder einen Zinkstab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwasser. Die 3520 Glasbecher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Gestell, einem Bücherrepositorium ähnlich, und von 4 starken Ständern getragen, bildeten. Besondere Sorgfalt war auf

die Isolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnißt und standen auf Glasplatten, die ebenso wie die Bretter mit einem ähnlichen Firnißüberzug versehen waren.

Es ließe sich wohl erwarten, daß diese Batterie im ungeschlossenen Zustande bedeutende Spannungserscheinungen hervorbringen mußte; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroskops schon, wenn man es dem einen Pole auf 2 bis 3 Zoll näherte. —

Sobald die Kette geschlossen wurde, verschwanden alle Zeichen von Spannung.

Als die Pole der Batterie auf 0,02 Zoll genähert wurden, schlugen unausgesetzt Funken zwischen ihnen über. In einem Fall dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

Da die gewöhnlichen galvanischen Ketten gar keine Schlagweite haben, so ist klar, daß die Lichterscheinungen, welche man beim Schließen und Oeffnen selbst einfacher Ketten beobachtet, ein ganz anderes Phänomen seyn muß, als der gewöhnliche elektrische Funken.

In dem so eben angeführten Aufsatz Jakobi's spricht er seine Ansicht dahin aus, daß der gewöhnliche galvanische Funke eine Glüh- und Verbrennungserscheinung sey; die äußersten feinen Spitzen, welche zuerst in Berührung kommen und welche zuerst die Stromleitung herstellen, werden glühend und verbrennen und veranlassen dadurch nach Jakobi's Meinung die Lichterscheinung. Daß bei kräftigeren Funken solche Glüh- und Verbrennungserscheinungen vorkommen, unterliegt keinem Zweifel, allein hier ist das Phänomen schon ein zusammengesetztes; man beobachtet den bei der Schließung oder Oeffnung der Kette den Funken unter Umständen, wo ein Glühen oder Verbrennen höchst unwahrscheinlich ist.

Neeff hat gezeigt, daß diese Lichterscheinung, wenn sie ganz einfach ohne secundäre Stromwirkungen auftritt, weder ein elektrischer Funken im gewöhnlichen Sinne des Wortes, d. h. daß es nicht ein von Pol zu Pol überspringender Funken ist, noch daß sie einer Metallverbrennung zugeschrieben werden kann (P. A. LXVI. 414.).

An seinem sogenannten Magnetelektrometer, wie er in der 3ten Auflage meines Lehrbuches der Physik, 2ter Theil, Seite 251, beschrieben ist, findet bei *c* eine continuirliche Schließung und Unterbrechung des Stromes statt, welche von einer entsprechenden Lichterscheinung begleitet ist. Bei jener Form des Apparates wird die Beobachtung der Lichterscheinung freilich durch die Breite des Hammers, welcher auf das Platinblättchen schlägt, verdeckt. Bei einer von Desaga in Heidelberg erdachten sehr zweckmäßigen Modification dieses Apparates, welche weiter unten näher beschrie-

ben werden soll, ist der Hammer durch eine Platinspitze ersetzt, so daß in rascher Aufeinanderfolge die Berührung zwischen einer Platinspitze und einer Platinplatte hergestellt und wieder unterbrochen wird.

Wenn der Apparat im Gange ist, beobachtet man an der Trennungsstelle eine Lichterscheinung, welche der Schnelligkeit der Oscillation wegen ganz continuirlich erscheint.

Schon das bloße Auge beobachtet bei gedämpftem Tageslicht hier ein violettes Licht, der positive Strom mag von der Spitze zur Platte, oder von der Platte zur Spitze gehen; aber das Lichtpünktchen ist überaus klein, und dadurch kam Neeff auf den Gedanken, die Erscheinung mit dem Mikroskop zu untersuchen.

Mit bewaffnetem Auge beobachtete er, daß das Lichtphänomen immer nur am negativen Pol stattfindet.

Am besten beobachtet man die Erscheinung durch ein Mikroskop, welches bei 25- bis 50facher Vergrößerung erlaubt, das Objectiv wenigstens 1½ Zoll weit vom Lichtpunkt anzubringen.

Geht der positive Strom von der Platte zur Spitze über, so erscheint die Spitze in ein violettes Licht eingehüllt, während die Platte ganz dunkel bleibt.

An dem untersten Ende der Spitze erscheinen in dem stetigen violetten Lichte einzelne außerordentlich feine Pünktchen von blendend weißem Lichte, welche eine wimmelnde Bewegung zeigen; allein auch bis gegen das obere Ende der violetten Lichthülle hin sieht man violettes Licht von größerer Intensität aufblitzen, ohne daß irgend ein Ueberspringen nach dem andern Pole zu bemerken wäre.

Dies letztere Aufblitzen verschwindet mehr und mehr, wenn der Strom schwächer wird.

Geht der Strom in entgegengesetzter Richtung, ist also die Spitze positiv, so erscheint sie ganz dunkel, und das violette Licht ist auf der Platte um den Berührungspunkt herum ausgebreitet.

Hier ist also durchaus kein eigentlicher Funken zu beobachten, allein auch einem Verbrennen des Platins kann dieser gleichförmige ruhige violette Lichtschimmer nicht zugeschrieben werden.

Neeff macht noch besonders darauf aufmerksam, daß diese Lichterscheinung auf den negativen Pol beschränkt ist, während die stärkste Wärmeentwickelung gerade am positiven Pol auftritt.

Fünfter Abschnitt.

Die chemischen Wirkungen des Stromes.

Daniell's Untersuchungen über Elektrolyse. Daß die chemi- 171
sche Zersetzung, welche ein galvanischer Strom hervorbringt, stets der Stromstärke proportional sey, ist ein Satz, der wohl jetzt als fest begründet angesehen werden kann, und dennoch hat uns eine genauere Untersuchung der Elektrolyse verschiedener Körper Erscheinungen kennen gelehrt, die wir bis jetzt noch nicht genügend unter dieses Gesetz zu bringen wissen. — Läßt man den Strom gleichzeitig durch eine Tangentenbussole und durch ein Voltameter gehen, so ist die Quantität des entwickelten Knallgases stets der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, mag nun die Flüssigkeit im Voltameter verdünnte Schwefelsäure, eine Lösung von Phosphorsäure oder auch eine Lösung von schwefelsaurem Natron seyn. Casselmann hat dies in seiner schon mehrfach erwähnten Abhandlung (Seite 70) durch eine Reihe genauer Versuche nachgewiesen.

Auf den ersten Anblick scheint dies ganz vortrefflich mit dem Gesetz der festen elektrolytischen Action zu harmoniren; bei der Salzlösung aber ergab sich, daß dieselbe ebenfalls zerlegt war, daß die Säure an der positiven, die Basis an der negativen Polplatte angehäuft war, daß also neben der, der Stromstärke entsprechenden Wasserzersetzung auch noch ein Theil des Salzes zerlegt worden ist.

Diese Erscheinung hat zuerst Daniell genauer beobachtet und untersucht. (Phil. Transact. 1839, pt. I., pag. 97; 1840, pt. I., pag. 209; P. A. 1842, Ergänzungsband 565 und 580.)

In den Schließungsbogen einer Säule von 30 constanten Zinkkohlenzellen wurde eine Zersetzungszelle von folgender Einrichtung eingeschaltet. Ein starker Glascylinder, etwa 14 Kubikzoll fassend, ursprünglich oben und unten geschlossen, war der Länge nach durchschnitten, dann zwischen

beiden Hälften eine poröse Thonplatte gelegt, und nun das Ganze durch Messingringe mit Schrauben wieder vereinigt. — In jeder der beiden so gebildeten Zellen befand sich eine Platinelektrode $2^3/_4$ Zoll lang und 1 Zoll breit, befestigt an einem Draht, der durch den Boden des Gefäßes geht. Ein oben in jede Zelle eingeschliffenes gekrümmtes Glasrohr diente zur Fortleitung des entwickelten Gases. Ein vorläufiger Versuch zeigte, daß destillirtes Wasser, mit dem die eine Zelle gefüllt ward, noch nach 24 Stunden nicht in merklicher Menge in die andere gedrungen war.

Fig. 156.

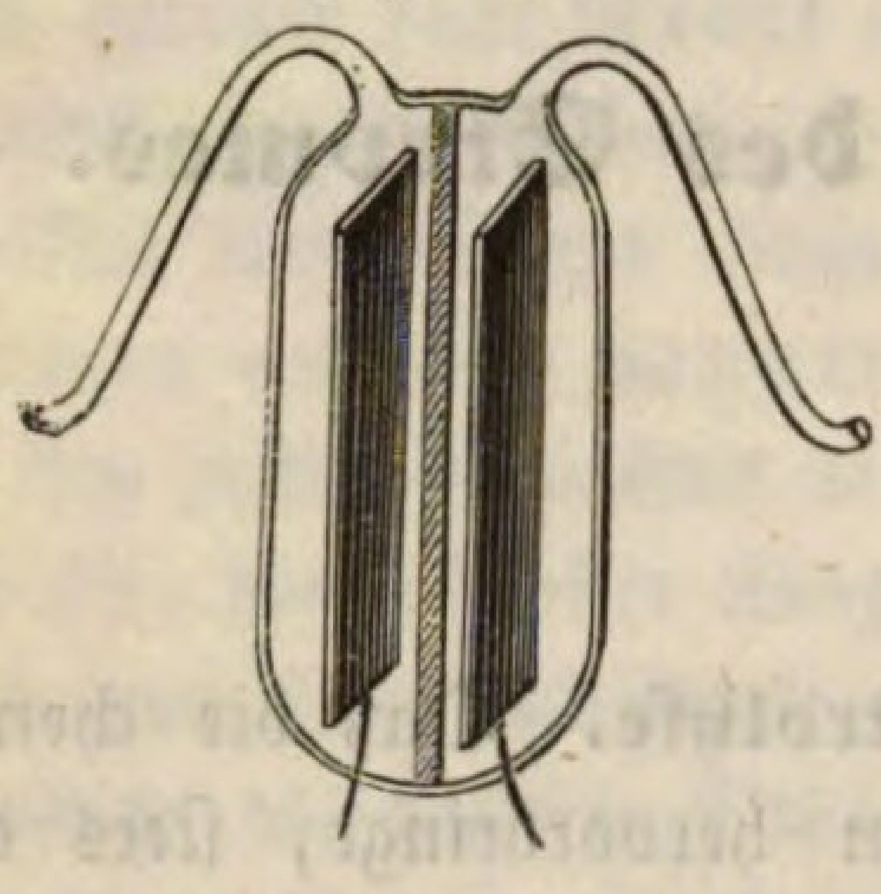


Fig. 156 stellt diesen Apparat, jedoch nur schematisch dar. An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen ist zwar auf eine Tafel VI. verwiesen, auf welcher die zum Daniell'schen Aufsatz gehörigen Figuren sich befinden sollen, allein diese Tafel fehlt, und zwar in allen Exemplaren, die ich nachsehen konnte.

Der erste Versuch, welcher mit diesem Apparate angestellt wurde, war folgender; beide Zellen wurden bis zur Bedeckung der Elektroden mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron gefüllt, und der Apparat dann so lange mit der Batterie in Verbindung erhalten, bis die entwickelten Gase zusammen 29 Kubikzoll (reducirt 28,3 Kubikzoll) betrugen. Dem Gewichte nach waren also 3,6 Gran Wasser zersetzt worden.

Die Lösung an der negativen Polplatte war stark alkalisch; sorgfältig mit einem Glasheber herausgenommen und mit Schwefelsäure von bestimmtem Gehalt gesättigt, fanden sich darin 12 Gran freien Natrons.

Die Lösung am positiven Pol war sauer und ergab bei Sättigung mit einer Lösung von kohlensaurem Natron von bestimmtem Gehalt, 15,1 Gran freier Schwefelsäure.

Setzen wir das Atomgewicht des Sauerstoffs = 100, so ist das des Wassers 112,5; das Atomgewicht der Schwefelsäure ist dann 500 und das des Natrons 390.

Nun verhalten sich aber

$$112,5 : 390 = 3,6 : \mathbf{12,5}$$

und

$$112,5 : 500 = 3,6 : \mathbf{16.}$$

Auf 1 Aequivalent zerlegten Wassers ist also in der einen Zelle sehr nahe 1 Aequivalent Schwefelsäure, in der andern sehr nahe 1 Aequivalent Natron ausgeschieden worden.

Mehrere Versuche mit andern Salzen gaben dasselbe Resultat.

Ueber das Verhältniß der chemischen Zersetzung zur Stromstärke giebt uns dieser Versuch noch gar keinen Anhaltspunkt. Dies Verhältniß würde sich am einfachsten und präcisesten ergeben haben, wenn außer der erwähnten Zersetzungszelle noch eine Tangentenbussole in den Strom eingeschaltet gewesen wäre; leider scheint dies Instrument in England noch fast gar nicht bekannt zu seyn, wenigstens wird es wenig angewendet. — Daniell schaltete statt dessen noch ein Voltameter in den Strom ein, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt war; es ergab sich gleich viel Knallgas im Voltameter und in der mit Glaubersalz gefüllten Zelle, allein es ergab sich, daß auch in dem Voltameter außer der Wasserzersetzung noch eine weitere Wirkung stattgefunden hatte, denn die Säure hatte sich am positiven Pole angehäuft.

Deshalb untersuchte Daniell die Zersetzung der verdünnten Schwefelsäure in einer mit poröser Scheidewand versehenen Zersetzungszelle genauer und fand, daß, nachdem eine bestimmte Menge Gas entwickelt war, sich in der Abtheilung der positiven Polplatten im Vergleich zum zersetzten Wasser ungefähr $\frac{1}{4}$ Aequivalent Schwefelsäure mehr, in der Abtheilung der negativen Polplatte $\frac{1}{4}$ Aequivalent Schwefelsäure weniger vorhanden war als vor dem Versuch; es hat also hier neben der Wasserzersetzung eine der Zerlegung des Salzes analoge Trennung von Wasser und Schwefelsäure, wenn auch nur zu $\frac{1}{4}$ Aequivalent, stattgefunden.

Diese Ueberführung von Schwefelsäure im Betrage von nahezu $\frac{1}{4}$ Aequivalent des zerlegten Wassers war von dem Concentrationsgrade der Säure unabhängig. Daniell hat den Versuch auf mannichfache Weise abgeändert, ist aber immer zu demselben Resultat gekommen.

Ein Voltameter mit Schwefelsäure gefüllt ist also hier nicht anwendbar, um die Stärke des Stromes zu messen, welcher durch die Glaubersalzlösung hindurchgeht.

Außer der mit der Salzlösung gefüllten Doppelzelle schaltete Daniell nun noch geschmolzenes Chlorblei in den Schließungsbogen der Batterie ein. Es befand sich in einer gebogenen über einer Weingeistlampe befindlichen Röhre von bleifreiem Glase; als negativer Pol diente im geschmolzenen Chlorblei ein Platindraht, während der negative Pol durch Graphit gebildet war. Am Graphit entwich das Chlorgas, am Platindraht setzte sich das ausgeschiedene Blei ab.

Hier ergab sich nun folgendes merkwürdige Resultat. Auf 1 Aequivalent zersetzten Chlorbleis wurde in der andern Zersetzungszelle 1 Aequivalent Wasser und außerdem noch 1 Aequivalent Salz zerlegt.

Nach der gewöhnlichen Betrachtungsweise erscheint also in der Salzlösungszelle eine doppelt so große chemische Wirkung als diejenige ist, welche

derselbe Strom in der Chlorbleizelle hervorbrachte; mit dem Gesetz der festen elektrolytischen Action steht das in directem Widerspruch.

Um diesen Widerspruch zu heben, betrachtet Daniell die Constitution der Salze anders, als es gewöhnlich geschieht; er betrachtet z. B. das schwefelsaure Natron nicht als zunächst gebildet durch die Verbindung von Säure und Basis, sondern er nimmt an, der elektronegative Bestandtheil des Salzes sey 1 Aequivalent Schwefel mit 4 Aequivalenten Sauerstoff, während der positive Bestandtheil dieses Salzes nur Natrium ist.

Gemäß dieser Ansicht wäre also

Schwefelsaures Natron	nicht	$SO_3.NaO$,	sondern	$SO_4.Na$,
Schwefelsaures Kali	»	$SO_3.KO$	»	$SO_4.K$,
Salpetersaures Kali	»	$NO_5.KO$	»	$NO_6.K$,
Phosphorsaures Natron	»	$PO^5/_2.NaO$	»	$PO^7/_2.Na$,
Kupfervitriol	»	$SO_3.CuO$	»	$SO_4.Cu$.

Geht der Strom durch die Auflösung eines solchen Salzes, so wird nicht das Wasser, sondern das Salz in die eben bezeichneten Bestandtheile zerlegt. Bei der Elektrolysation des Glaubersalzes tritt also an der positiven Polplatte als directe Wirkung der Elektrolyse SO_4 auf, von dem sich aber sogleich O abscheidet, um gasförmig zu entweichen und SO_3 zurückzulassen, während das am andern Pol ausgeschiedene Na den Sauerstoff des Wassers an sich zieht, und so für jedes Aequivalent Na ein Aequivalent Wasserstoff entbindet, während das durch secundäre Wirkung entstandene NaO in der Flüssigkeit gelöst bleibt.

Ganz ebenso geht der Proceß bei der Elektrolysation des Kupfervitriols vor sich, mit dem einzigen Unterschiede, daß das am negativen Pol reducirte Kupfer sich nicht sogleich wieder oxydirt und dadurch Wasserstoff frei macht, sondern sich in metallischer Form in den negativen Pol ansetzt.

Daniell schlägt auch eine dieser theoretischen Ansicht von der Constitution der unorganischen Salze entsprechende neue Nomenclatur vor; so nennt er die Verbindung SO_4 Oxysulphion, NO_6 Oxynitrion u. s. w. Demgemäß ist

Schwefelsaures Kupferoxyd = Kupferoxysulphion,
Salpetersaures Kali = Kaliumoxynitrion
u. s. w.

Die Versuche mit concentrirter Salmiaklösung stimmen ganz mit der Ansicht überein, daß der Salmiak Chlor-Ammonium sey, also zusammengesetzt ist aus dem einfachen Anion (negativer Bestandtheil) Cl (Chlor) und dem zusammengesetzten Kathion (positiver Bestandtheil) NH_4 (Ammonium). Der aus Zinn bestehende positive Pol wurde aufgelöst, während am negativen Pol Wasserstoff und Ammoniak frei wurde, entstanden durch das Zerfallen von NH_4 in NH_3 und H.

Das schwefelsaure Ammoniak ist demgemäß Ammonium-Oxysulphion, $SO_4 . NH_4$.

Diese Ansichten führen dann auch zu der in der Chemie schon mehrfach besprochenen Verallgemeinerung der Theorie der Wasserstoffsäuren, der zu Folge die wasserhaltigen Sauerstoffsäuren, wie die Wasserstoffsäuren, binäre Verbindungen von Wasserstoff mit einem Radical sind; so wäre also die Schwefelsäure $SO_4 . H$.

Zwischen Schwefelsäurehydrat $SO_4 . H$ und schwefelsaurem Natron $NO_4 . Na$ bestände demnach dieselbe Beziehung wie zwischen Salzsäure ClH und Kochsalz ClNa; das H ist nur durch Na ersetzt.

Mit dieser Ansicht wollen nun die oben erwähnten Versuche über die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure noch nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelsäurehydrat wirklich Wasserstoffoxysulphion ist, so muß es bei der Elektrolyse in H und SO_4 zerlegt werden; das am positiven Pol freiwerdende Oxysulphion zerfällt aber sogleich in SO_3 und O, welch letzterer Bestandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüssigkeit zurückbleibt; es müßte also für jedes Aequivalent Wasserstoffgas, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerstoffgas, welches an der positiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelsäure SO_3 am positiven Pol auftreten; den oben angeführten Versuchen zufolge findet sich aber nach der Elektrolyse in der positiven Zelle nur $1/4$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Der Versuch wurde auf mehrfache Weise abgeändert, aber stets mit demselben Erfolge.

Ebenso verhielt sich Phosphorsäure. Durch die Elektrolyse wurde der Gehalt an Phosphorsäure in der positiven Zelle nur um $1/4$ Aequivalent vermehrt.

Derselbe Versuch, mit Aetzkalilauge angestellt, zeigte, daß während 1 Aequivalent Wasser zersetzt wurde, etwas weniger als $1/5$ Aequivalent Kali zum negativen Pole wanderte.

Barytwasser gab gleiche Resultate wie Aetzkalilauge.

Eine große Stütze würde es für die Daniell'sche Ansicht gewesen seyn, wenn es ihm gelungen wäre, das hypothetische Oxysulphion, SO_4, zu isoliren. Um dies wo möglich zu erreichen, nahm er die Elektrolyse verdünnter Schwefelsäure, verdünnter Phosphorsäure, oder einer Lösung von schwefelsaurem Natron in einer Uförmig gebogenen, unten mit Scheidewänden versehenen Zersetzungszelle vor und erkaltete den Schenkel, welcher die positive Polplatte enthielt, mittelst einer Kältemischung bis auf 0^0 F.; er dachte durch die Kälte das Zerfallen von SO_4 in SO_3 und O zu verhindern. Diese Versuche führten aber zu keinem Resultat.

Daniell machte nun Versuche mit Lösungen saurer Salze. Er be-

reitete eine Lösung von saurem schwefelsaurem Kali. Nach der Elektrolyse ergab sich, daß für jedes Aequivalent Wasserstoffgas, welches an dem negativen Pol entwickelt worden war, ein Aequivalent Sauerstoff am positiven Pol aufstieg, daß aber nur die Zelle des negativen Poles $\frac{1}{5}$ Aequivalent Kali und die Zelle des positiven Poles $\frac{1}{2}$ Aequivalent Schwefelsäure mehr enthielt als vorher, oder mit andern Worten für 1 Aequivalent zersetzten Wassers ist $\frac{1}{5}$ Aequivalent Kali zum negativen und $\frac{1}{2}$ Aequivalent Schwefelsäure zum positiven Pole übergeführt worden.

Dies Resultat erscheint auf den ersten Anblick sehr verwickelt, doch gelang es Daniell, es unter einen einfachen Gesichtspunkt zu bringen. — Nehmen wir nämlich an, die Flüssigkeit bestehe aus drei Elektrolyten, Wasser, neutrales schwefelsaures Kali und Schwefelsäurehydrat, oder nach Daniell's Bezeichnung OH, SO_4K und SO_4H. Theilt sich nun der Strom so, daß die Hälfte durch HO, ein Viertel durch SO_4K und ein Viertel durch SO_4H geleitet wird, so ergeben sich als directe Resultate der Zersetzung:

Am positiven Pol.		Am negativen Pol.
	Aus OH	
$\frac{1}{2}$ Aeq. O		$\frac{1}{2}$ Aeq. H.
	Aus SO_4K	
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4		$\frac{1}{4}$ Aeq. K.
	Aus SO_4H	
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4		$\frac{1}{4}$ Aeq. H.

Durch secundäre Wirkung zieht jetzt das $\frac{1}{4}$ Aeq. Kali $\frac{1}{4}$ Aeq. Sauerstoff an sich, um $\frac{1}{4}$ Aeq. KO zu bilden, wodurch hier $\frac{1}{4}$ Aeq. H frei wird, auf der andern Seite aber zerfällt das SO_4 in SO_3 und O, und so haben wir

am positiven Pol	am negativen Pol
$\frac{1}{2}$ Aeq. O	$\frac{1}{2}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. KO + $\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{2}$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O,	$\frac{1}{4}$ Aeq. KO + 1 Aeq. H,

was in der That mit den Resultaten des Versuchs ganz gut übereinstimmt.

Dies gab nun auch den Schlüssel, um die Zersetzung der verdünnten Schwefelsäure zu erklären; sie ist ein zusammengesetztes Elektrolyt, bestehend aus Wasser und Schwefelsäurehydrat; der Strom theilt sich so, daß $\frac{3}{4}$ durch das Wasser, $\frac{1}{4}$ durch das Schwefelsäurehydrat geleitet werden und man erhält also

am positiven Pol	am negativen Pol
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4	$\frac{1}{4}$ Aeq. H,

und durch Zerfallen von SO_4

am positiven Pol	am negativen Pol
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H,

ganz wie es der Versuch gezeigt hat.

Als Stütze für seine Ansicht über die Elektrolyse seiner Salze führt Daniell noch den Umstand an, daß aus einer neutralen Lösung von Kupfervitriol sich das Kupfer in einer compacten Masse am negativen Pol ausscheidet und sich dabei auf's innigste allen Gestaltungen desselben anschließt, während das Kupfer sich mehr in pulverförmigem Zustande niederschlägt, wenn die Lösung stark sauer ist.

So lange die Lösung neutral ist, wird nur $SO_4.K$ zerlegt und also nur K an der Platinode ausgeschieden, während bei einer sauren Lösung auch noch HO und SO_4H elektrolysirt wird und also am negativen Pol neben K auch noch H frei wird.

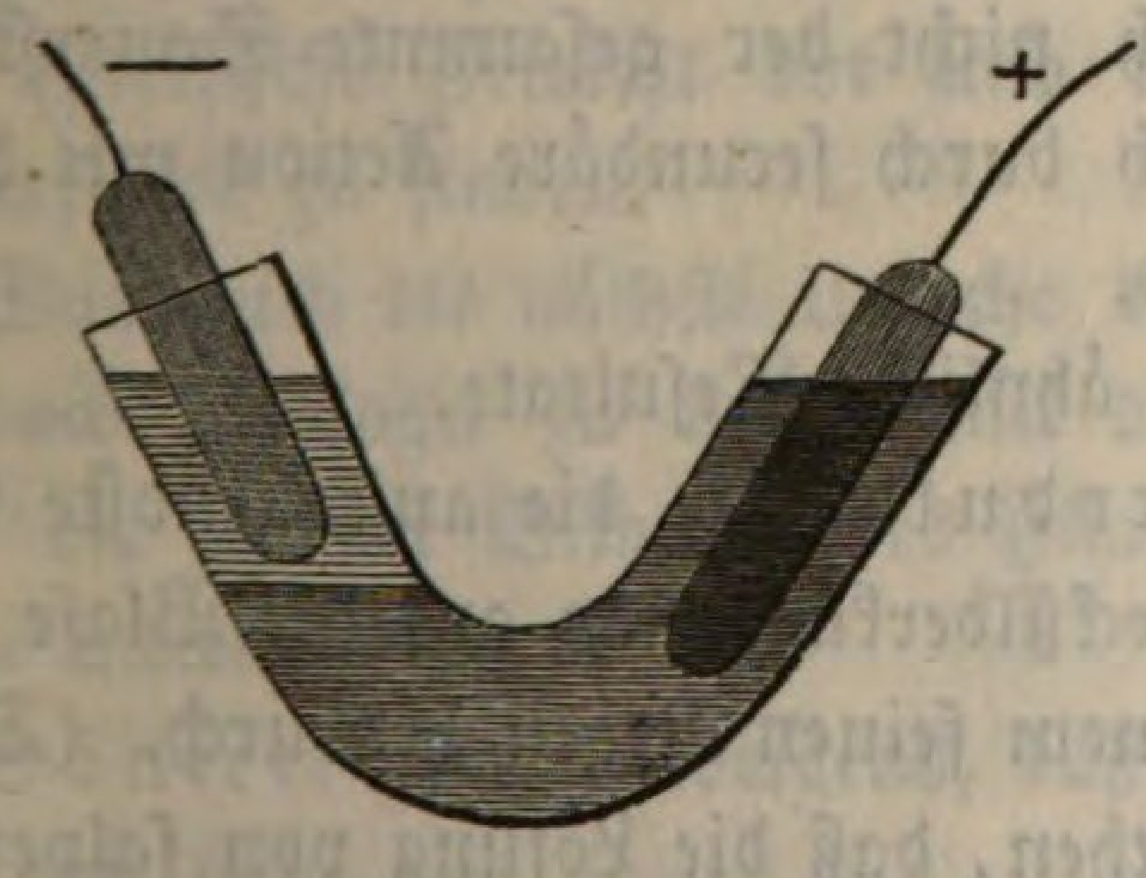
Am Schlusse seiner Abhandlung theilt der Verfasser noch einige nachträgliche Beobachtungen über Elektrolyse secundärer Verbindungen mit.

Er untersuchte kohlensaures Kali, Natron und Ammoniak und fand, daß die Kohlensäure und der Sauerstoff, welche beide als Gase am positiven Pol frei wurden, äquivalent waren dem Alkali und Wasserstoff am negativen Pol. Er betrachtet demnach auch die kohlensauren Salze als Oxycarbonione von Kalium, Natrium, Ammonium u. s. w.

Niederschläge an den Scheidewänden. In dem eben besprochenen 172
Aufsatze beschreibt Daniell noch einige weitere, sehr interessante Erscheinungen, die wir, um den Gang nicht zu unterbrechen, erst jetzt in besonderen Paragraphen betrachten wollen, nämlich: Niederschläge an den Scheidewänden und die Anhäufung der Flüssigkeit am negativen Pol.

Schon Faraday hat gefunden, daß wenn der positive Pol in einer concentrirten Lösung von Bittersalz sich befindet, der negative aber in Wasser, welches auf dem Bittersalz schwimmt (man kann den Versuch am einfachsten auf die in Fig 157 angedeutete Weise anstellen), daß alsdann bei Durchleitung eines sehr kräftigen Stromes Bittererde an der Berührungsfläche beider Flüssig-

Fig. 157.



keiten ausgeschieden wird. Im Wasser wandert der Sauerstoff gegen den +Pol hin, in der Bittersalzlösung aber das Magnesium gegen den —Pol; wo sich beide an der Gränzfläche der Flüssigkeiten begegnen, verbinden sie sich zu Bittererde, welche ausgeschieden wird.

Aehnliche Beobachtungen theilt nun Daniell in dem erwähnten Aufsatz mit.

Einen unten durch Blase verschlossenen Glascylinder füllte er mit verdünnter Aetzkalilösung und ließ denselben in ein weiteres Glas, welches concentrirte und neutrale Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd enthielt, so weit hinab, daß er so eben in die Lösung eintauchte. Dann tauchte er in die Kalilösung die negative, in die Lösung des Kupfervitriols die positive Polplatte einer Batterie von 20 Zellen. Am negativen Pol entwickelte sich Wasserstoffgas, an dem positiven Sauerstoff, während die Blase, von der auch etwas Gas aufstieg, sich reichlich mit metallischem Kupfer bekleidete, in welches Kupferoxyd und blaues Kupferoxydhydrat eingesprengt waren.

Dieser Vorgang erklärt sich so. Das schwefelsaure Kupferoxyd zerfällt in SO_4 und Cu; ersteres geht zum positiven Pol, letzteres, das Kupfer, wandert zur Blase, wird hier aufgehalten und tritt dem aus der Elektrolyse der Kalilösung entspringenden Wasserstoff seine Ladung ab, der sich nun am negativen Pole entwickelt. Andererseits wird auch der Sauerstoff der Kalilösung auf seinem Wege gegen den positiven Pol durch die Blase aufgehalten, giebt seine Ladung an das dorthin wandernde SO_4 ab und verbindet sich mit dem Kupfer, dem er an der Blase begegnet. Indeß ist die Wirkung zu rasch, als daß diese Verbindung vollständig vor sich gehen könnte, ein Theil des Kupfers setzt sich metallisch an der Blase ab, während ein Theil des Sauerstoffs von ihr gasförmig aufsteigt.

In der That verschwindet das metallische Kupfer um so mehr, je schwächer der Strom wird. Bei schwächeren Strömen bedeckte sich die Blase mit einem dicken Ueberzug von Kupferoxyd, in welchem nur einige Flitterchen Kupfer sichtbar waren.

Aus salpetersaurem Silberoxyd schlug sich auf die Blase viel Silber nieder, gemischt mit Silberoxyd; auch entwickelte sich Gas an der Blase. An dem positiven Pol entwich nicht der gesammte Sauerstoff, sondern ein Theil desselben verband sich durch secundäre Action mit dem Silberoxyd der Lösung zu Hyperoxyd.

Salpetersaures Bleioxyd gab ähnliche Resultate.

Salpetersaures Quecksilberoxydul zeigte die auffallendste Erscheinung. Nicht nur lagerten sich Quecksilberkügelchen auf der Blase ab, sondern diese drangen fortwährend in einem feinen Regen hindurch. (Dieser Ausdrucksweise zufolge ist zu vermuthen, daß die Lösung von salpeter-

saurem Quecksilberoxydul mit dem positiven Pol sich innerhalb der zugebundenen Röhre befand.)

Anhäufung von Flüssigkeit am negativen Pol. Die Erschei- 173
nung, daß Flüssigkeiten unzersetzt von der einen Elektrode zu der andern fortgeführt werden, ist zuerst von Porret beobachtet worden (Annals of Philosoph. Jul. 1816; P. A. XII. 618.). Er theilte ein Glas durch eine Scheidewand von thierischer Blase in zwei Zellen, füllte diese mit Wasser und hing in jede eine Platinplatte, die er dann mit den Polen einer Säule von 80 Plattenpaaren verband. Dabei wurde fast die gesammte Flüssigkeit in die negative Zelle getrieben. Diese Erscheinung fand nicht statt, wenn das Wasser durch Zusatz von Schwefelsäure leitender gemacht wurde.

Daniell füllte seine Zersetzungszelle mit destillirtem Wasser. Bei Verbindung dieser mit einer Batterie von 30 Zellen erschienen nur wenig Blasen an den Elektroden (wieder ein Fall, wo die Einschaltung einer Tangentenbussole sehr wünschenswerth gewesen wäre), und es entwickelte sich nichts; allein nach 40 Minuten stand die Flüssigkeit an dem negativen Pol ½ Zoll höher als am positiven. Als er in dem Wasser an dem positiven Pol etwas frisch gefälltes Eiweiß vertheilte, wurde sichtbar eine Portion dieser fein vertheilten Substanz mit dem Wasser zu dem negativen Pol geführt.

Bei Füllung der Zelle mit einer Mischung von 8 Theilen Wasser und 1 Theil Schwefelsäure, trat kein Niveauunterschied ein.

Die Erscheinung hängt jedoch nicht vom Leitungsvermögen ab, denn sie zeigt sich bei gut leitenden Salzlösungen oft noch stärker, als bei reinem Wasser.

Als eine Lösung von Glaubersalz in der durch die poröse Wand getrennten Zelle sich befand, stieg die Flüssigkeit in der negativen Zelle um 1½ Zoll, während daselbst 9 Kubikzoll Sauerstoffgas frei wurden; bei phosphorsaurem Natron betrug der Höhenunterschied 2 Zoll. Salpetersaures Kali zeigte die Erscheinung in weit geringerem Maaße.

Um zu ermitteln, ob bei diesem Fortführungsproceß die ganze Flüssigkeit fortgeführt wird, oder nur das Salz oder das Wasser, nahm Daniell das specifische Gewicht vor und nach dem Proceß, ohne einen merklichen Unterschied zu finden.

Was auch die nächste Ursache dieser Erscheinung seyn mag, so scheint sie doch Analogie zu haben mit der Ueberführung gut leitender Substanzen, die bei der Bildung des Flammenbogens die Verbindung der beiden Pole unterhalten.

Daniell glaubt übrigens, daß dieser Proceß nichts mit der Endosmose zu thun habe. —

174 **Elektrolyse polybasischer Salze.** Daniell hat seine Untersuchungen über Elektrolyse im Verein mit Miller auch noch auf complicirtere Fälle ausgedehnt (Phil. Transact. f. 1844 pt. I, P. A. LXIV. 18), von denen wir zunächst die Elektrolyse der verschiedenen Modificationen phosphorsaurer Salze näher betrachten wollen.

Um aber diese interessanten Erscheinungen auch Denen verständlich zu machen, welchen die Details über die Constitution der phosphorsauren Salze nicht genügend bekannt sind, will ich das Wesentlichste davon kurz auseinandersetzen, mit der Bemerkung, daß man diesen Gegenstand mit ganz besonderer Klarheit im Otto-Graham's Lehrbuch der Chemie, 2te Auflage, 2ten Bandes, 1ste Hälfte, S. 380, behandelt findet.

Die gewöhnliche Phosphorsäure PO_5 bildet drei verschiedene Natronsalze, nämlich:

$3\,NaO, PO_5$ . . . . 1)
$2\,NaOHO, PO_5$ . . . . 2)
$NaO\,2HO, PO_5$ . . . 3),

von denen das zweite das gewöhnliche phosphorsaure Natron der Officinen ist; es wurde sonst das neutrale genannt, während man das erste als das basische, das letzte als das saure bezeichnete.

In Nro. 2 ist HO, in Nro. 3 aber $2\,HO$ ein wesentlicher Bestandtheil des Salzes, es vertritt die Stelle von 1 Aequivalent Basis, so daß hier also stets 1 Aeq. Säure mit 3 Aeq. Basis verbunden ist.

Setzt man der Lösung von Nro. 2 eine Auflösung von essigsaurem Blei zu, so erhält man einen Niederschlag von phosphorsaurem Bleioxyd, welches ebenfalls 3 Aeq. Basis auf 1 Aeq Säure enthält, es ist also dieser Niederschlag $3\,PbO, PO_5$.

Eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd fällt aus einer Lösung von Nro. 2 das dreibasische phosphorsaure Silberoxyd $3\,AgO, PO_5$, welches durch seine gelbe Farbe ausgezeichnet ist.

Diese Modification der Phosphorsäure, welche dadurch charakterisirt ist, daß sie immer 3 Aequivalente Basis sättigt, wird deshalb die dreibasische Phosphorsäure genannt und auch als cPhosphorsäure bezeichnet. Sind die 3 Aeq. Basis durch 3 Aeq. Wasser vertreten, so bildet diese Verbindung das cPhosphorsäurehydrat, das Phosphorsäureterhydrat oder das dreibasische phosphorsaure Wasser.

Wird das gewöhnliche phosphorsaure Natron $2\,NaOHO, PO_5$ geglüht, so wird seine Natur ganz geändert. Nach dem Wiederauflösen liefert es Krystalle eines ganz anderen Salzes, welches man zuerst pyrophosphorsaures Natron nannte. Beim Glühen ist nämlich das Aequivalent basischen Wassers ausgetrieben worden, man hat nun ein Salz, wel-

ches auf 1 Aeq. PO_5 nur 2 Aeq. Natron enthält, das neue Salz ist $2NaO, PO_5$.

Durch Zusatz von essigsaurem Bleioxyd wird zweibasisches phosphorsaures Bleioxyd $2PbO, PO_5$ niedergeschlagen, welches, durch Schwefelwasserstoff zerlegt, die Lösung der zweibasischen Phosphorsäure oder der bPhosphorsäure liefert.

Graham betrachtet diese verdünnte Säure als die Lösung des Hydrats $2HO, PO_5$, welches er das Deutohydrat der Phosphorsäure nennt.

Wird diese Säure mit Basen gesättigt, so verbinden sich stets 2 Aeq. Basis mit 1 Aeq. Säure. Das bphosphorsaure Natron giebt bei Zusatz von salpetersaurem Silber einen weißen Niederschlag von bphosphorsaurem Silber, $2AgO, PO_5$; während das dreibasische Silbersalz, wie bereits angeführt worden, eine gelbe Farbe besitzt.

Durch Glühen des früher unter dem Namen des sauren phosphorsauren Natrons bekannten Salzes, $NaO\,2HO, PO_5$, werden die 2 Aeq. Wasser ausgetrieben, es bleibt das einbasische phosphorsaure Natron oder das aphosphorsaure Natron NaO, PO_5; durch Zusatz von essigsaurem Bleioxyd oder salpetersaurem Silberoxyd erhält man die entsprechenden Blei- und Silbersalze PbO, PO_5 und AgO, PO_5. Diese Salze zeichnen sich durch eine gelatinöse Beschaffenheit aus.

Das Hydrat der einbasigen Phosphorsäure HO, PO_5, das aPhosphorsäurehydrat oder Phosphorsäureprotohydrat zeichnet sich von den anderen Phosphorsäurehydraten auch dadurch aus, daß es in einer Auflösung von Eiweiß einen weißen Niederschlag hervorbringt.

Sowohl das a- als auch das bPhosphorsäurehydrat geht bei Erwärmung seiner Lösung in Wasser in die gewöhnliche Phosphorsäure über.

Wenden wir uns nun zu den Versuchen Daniell's und Miller's über die Elektrolyse phosphorsaurer Salze selbst.

Eine starke Lösung des dreibasischen phosphorsauren Natrons und Wassers $2NaO\,HO, PO_5$ wurde in die negative, auf die andere Seite der Doppelzelle eine verdünnte Natronlösung gebracht. Bei Hindurchleitung des Stromes einer constanten Batterie von 20 Bechern wurde Sauerstoff am positiven, Wasserstoff am negativen Pole ausgeschieden; der Strom wurde unterbrochen, nachdem 48 Kubikzoll Wasserstoffgas entwickelt worden waren. Die Flüssigkeit in der Zelle des positiven Pols, sorgfältig mit Salpetersäure gesättigt, gab mit salpetersaurem Silber einen reichlichen gelben Niederschlag, es war also offenbar cPhosphorsäure in die positive Zelle übergegangen.

Gleiches Resultat ergab sich, als man statt des Salzes $2NaO\,HO, PO_5$

die Auflösung des Salzes $3NaO, PO_5$ in die negative Zelle brachte, auch hier fand sich nach Beendigung der Elektrolyse dreibasische Phosphorsäure in den negativen Zellen.

Als dagegen in die Abtheilung des negativen Poles eine Auflösung des zweibasischen phosphorsauren Natrons $2NaO, PO_5$ gebracht wurde, fand sich nach Beendigung der Elektrolyse, daß auch bPhosphorsäure in die Natronlösung der positiven Zelle übergegangen war, denn die Flüssigkeit dieser Abtheilung gab mit Salpetersäure neutralisirt bei Zusatz von salpetersaurem Silber einen weißen Niederschlag.

Endlich wurde die Lösung des monobasischen phosphorsauren Natrons NaO, PO_5 unter gleichen Umständen elektrolysirt, mit salpetersaurem Silber gab nach Beendigung der Elektrolyse die Flüssigkeit des positiven Poles einen weißen gelatinösen Niederschlag, es war also aPhosphorsäure in die positive Zelle übergegangen.

Wir haben hier die merkwürdige Erscheinung, daß derselbe Körper PO_5 bei gleicher Zusammensetzung in verschiedenen Modificationen vorkommt, die man gewöhnlich einem allotropischen Zustande zuschreibt; PO_5 sättigt unter Umständen nur 1 oder 2 oder 3 Aequivalente Basis. Bei der Elektrolyse der phosphorsauren Salze tritt nun die Phosphorsäure an der positiven Elektrode stets in derselben Modification auf, in welcher sie in der negativen Zelle im Salz enthalten war. Aus einem dreibasischen Salz wandert die cPhosphorsäure, aus einem zweibasischen Salz die bPhosphorsäure, aus einem einbasischen Salz die aPhosphorsäure zur positiven Elektrode über.

Die Ansicht, welche Daniell durch seine Versuche über Elektrolyse von der Constitution der Salze gewonnen hat, und welche wir im Paragraph 171 kennen lernten, stimmt mit den eben besprochenen Eigenthümlichkeiten und dem elektrolytischen Verhalten der phosphorsauren Salze ganz gut überein. Nach dieser Theorie muß man betrachten

$3NaO, PO_5$ als $Na_3 + PO_8$ Natrium-Tritoxyphosphion,
$2NaO, PO_5$ als $Na_2 + PO_7$ Natrium-Deutoxyphosphion,
NaO, PO_5 als $Na + PO_6$ Natrium-Protoxyphosphion.

Bei der Elektrolyse von Natrium-Tritoxyphosphion wird Na_3 an dem negativen Pol ausgeschieden, während PO_8 zum positiven wandert. Indem sich die 3 Aeq. Na oxydiren, werden am positiven Pole 3 Aeq. H entwickelt, während am anderen Pol 3 Aeq. H zu PO_8 treten, um $H_3 + PO_8$, das heißt das Ter- oder Tritohydrat, zu bilden, wobei denn natürlich 3 Aeq. Sauerstoff am positiven Pol entweichen müssen.

Bei der Elektrolyse des Natrium-Deutoxyphosphions wandert PO_7 zum positiven Pol und entwickelt 2 Aeq. Sauerstoff, indem es sich mit H_2 zu $H_2 + PO_7$, d. h. zum Deutohydrat, verbindet, während am an-

deren Pol 2 Aeq. Natron gebildet und 2 Aeq. Wasserstoff entwickelt werden.

Bei der Elektrolyse des monobasischen Salzes wandert PO_6 zum positiven Pol und bildet das Protohydrat $H + PO_6$.

Elektrolyse arsenigsaurer und schwefligsaurer Salze. Die eng- 175
lischen Physiker wandten sich nun zur Elektrolyse von Salzen, deren Säuren auf einer niedrigeren Oxydationsstufe stehen, als die bisher betrachteten.

In die negative Zelle wurde eine Lösung von arsenigsaurem Kali ($KO + AsO_3$) in die positive Zelle Kalilösung gebracht. Am positiven Pol wurde Sauerstoff entwickelt, am negativen aber erschien kein Wasserstoff, sondern er bedeckte sich mit metallischem Arsenik. Durch die Elektrolyse war, nach Daniell's Ansicht, in der negativen Zelle K ausgeschieden worden, welches durch seine Oxydation Arsenik reducirte; AsO_4 war in die positive Zelle gewandert, 1 Aeq. Sauerstoff wurde frei, die zurückbleibende arsenige Säure bildete mit dem vorhandenen Kali arsenigsaures Kali.

Schwefligsaures Kali ($KO + SO_2$) in beiden Zellen gab Wasserstoff an der negativen, aber kein Sauerstoff an der positiven Polplatte, dagegen bildete sich Schwefelsäure in der positiven Zelle, welche durch ihre Einwirkung auf das schwefligsaure Salz auch etwas schweflige Säure entwickelte. Durch den Strom wurde auf der einen Seite K ausgeschieden und durch dessen Oxydation Wasserstoff entwickelt; $SO_2 + O$, welches Daniell als Suboxysulphion bezeichnet, wanderte nach der anderen Seite und trat dort als SO_3 auf.

Unterschwefligsaures Natron ($NaO + S_2O_2$) gab einen ähnlichen Erfolg. Am negativen Pol entwickelten sich Wasserstoff, am positiven kein Gas, doch machte sich hier ein starker Geruch nach schwefliger Säure geltend, welcher von einer allmäligen Ablagerung von Schwefel begleitet war. $S_2O_2 + O$ wandert nach dem positiven Pol, zerfällt in $S + SO_3$, und durch die Einwirkung der Schwefelsäure auf das umgebende Salz wird schweflige Säure entwickelt.

Die Versuche über die Elektrolyse des gelben und rothen Cyaneisenkaliums können wir hier nicht näher besprechen.

Ueberführung der Basen. Bei der Elektrolyse der phosphorsauren 176
Salze war die Säure in die positive mit Natronlösung gefüllte Zelle übergeführt worden. Daniell wollte nun versuchen, umgekehrt, aus der positiven Zelle die Basen in die mit Säure gefüllte negative Zelle überzuführen.

Bei Anwendung einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd-Kali $CuO.SO_3 + KO.SO_3$ wurden nur Spuren von Kupfer in die negative Zelle übergeführt und an dem negativen Pole abgelagert, dagegen ergab sich nach Unterbrechung des Versuchs, daß im Vergleich zu den entwickelten Gasen $\frac{1}{4}$ Aeq. Kali in die negative Zelle übergetreten war.

Eine Lösung von schwefelsaurem Thonerde-Kali (Alaun, $Al_2O_3.3SO_3 + KO.SO_3$) gab ähnliche Resultate, es war Kali in demselben Verhältniß, wie im vorigen Versuch, zur negativen Zelle übergangen, aber keine Thonerde.

Aus einer Lösung von schwefelsaurem Bittererde-Kali ($MgO.SO_3 + KO.SO_3$) war ebenfalls nur Kali nebst einer sehr unbedeutenden Menge von Bittererde übergegangen.

Statt der Doppelsalze wurden nun der Reihe nach die Lösung von schwefelsaurer Thonerde ($Al_2O_3.3SO_3$), schwefelsaurem Eisenoxyd ($Fe_2O_3.3SO_3$) und Kupfervitriol ($CuO.SO_3$) in die positive Zelle, in die negative aber verdünnte Schwefelsäure gebracht. Weder Thonerde, noch Eisenoxyd, noch Kupferoxyd gingen in merklicher Menge in die negative Zelle über.

Beide Zellen wurden mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt. Am negativen Pol schlug sich Kupfer nieder, die Lösung wurde an Kupfer ärmer; in die andere Zelle war 1 Aeq. Schwefelsäure übergegangen, aber der Kupfergehalt unverändert geblieben; es war also kein Kupfer von der positiven Zelle in die negative übergegangen.

Zinkvitriol verhielt sich eben so.

Diese Erscheinung ist aber nicht etwa dem Einfluß der Scheidewand zuzuschreiben. Als ein langes Rohr mit aufrechten Schenkeln mit Kupfervitriollösung gefüllt wurde und an den Enden zwei Kupferstreifen als Elektroden eingetaucht wurden, ward die Flüssigkeit im negativen Schenkel heller, im positiven aber dunkler.

Sonach, sagt Daniell, scheint es festgestellt, daß bei der Elektrolyse derjenigen Metalle, welche bei gewöhnlicher Temperatur das Wasser zersetzen oder deren Oxyde sehr löslich im Wasser sind, der Fortführung in der Volta'schen Kette vom positiven zum negativen Pol fähig sind, während diejenigen, welche keine so starke Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzen, ihren Ort behaupten.

Bei unbefangener Betrachtung des Umstandes, daß gewisse Basen bei der Elektrolyse der Lösungen ihre Salze nicht nach dem negativen Pol hin wandern, drängt sich sogleich die Ansicht auf, daß in diesem Fall nicht das Salz direct elektrolysirt werde und den Strom leite, sondern daß seine Zerlegung nur eine secundäre Erscheinung sey. Wenn an der nega-

tiven Polplatte aus einer Lösung von Kupfervitriol metallisches Kupfer niedergeschlagen wird, ohne daß Kupfer von der anderen Seite herüberwandert, während doch 1 Aeq. Schwefelsäure zum positiven Pol geht, so läßt sich dies kaum anders erklären, als daß direct SO_4H elektrolysirt werde; H wandert zum negativen Pol und reducirt dort 1 Aeq. Kupfer, SO_4 geht zum positiven, entwickelt 1 Aeq. O mit Zurücklassung von 1 Aequivalent SO_3. Das stimmt nun freilich nicht mit den Daniell-schen Ansichten überein, welche wir schön im Paragraph kennen lernten, die jedoch auf alle Fälle anwendbar ist, wo die Basis des zerlegten Salzes ebenfalls eine Ueberführung erleidet, wie z. B. bei der Elektrolyse von $KO + SO_3$.

Becquerel's Untersuchungen über die Gesetze der elektrochemischen Zersetzung. 177 Auch der jüngere Becquerel hat interessante Untersuchungen über die Gesetze der Elektrolyse angestellt (Ann. de chim. et de phys. Sér. III, T. XI, p. 162 und 257, im Auszug in Pogg. Ann. LXV, 461). Faraday hatte den Grundsatz aufgestellt, daß unter den verschiedenen Verbindungen, die zwei Elemente mit einander eingehen können, nur diejenigen durch den Strom zersetzt werden, die aus gleich viel Aequivalenten von jedem bestehen.

Schon Matteucci hat es wahrscheinlich gemacht (Bibl. univers. Sér. nouv. T. XXI, p. 153), daß dieser Satz nicht allgemein gültig sey, und Becquerel hat es durch zahlreiche Versuche außer Zweifel gesetzt.

Zunächst untersuchte Becquerel mehrere Chlormetalle, und zwar bald in geschmolzenem Zustande, bald als gesättigte wässerige Lösung. Bei Anwendung der geschmolzenen Chlormetalle wirkt besonders der Umstand auf die Genauigkeit des Resultates störend ein, daß das am positiven Pol ausgeschiedene Chlor, in der Flüssigkeit sich verbreitend, das am negativen Pol niedergeschlagene Metall theilweise wieder auflöste, so daß man immer etwas zu wenig Metall erhielt. Deshalb wandte Becquerel meist die Chlormetalle, in einer schicklichen Flüssigkeit gelöst, an, nachdem er sich überzeugt hatte, daß aus ihnen stets gleich viel Metall niedergeschlagen wird, wie aus der geschmolzenen Chlorverbindung, und daß auch bei diesen Lösungen nur das Chlormetall, nicht das Wasser elektrolysirt werde, denn es entwickelte sich am positiven Pol stets Chlor und nicht Sauerstoff, wie es hätte der Fall seyn müssen, wenn auch nur theilweise das Wasser wäre elektrolysirt worden.

Die zu untersuchende Lösung befand sich in zwei durch einen Heber verbundenen Gefäßen, deren jedes eine Elektrode aufnahm. Die negative Elektrode war gewöhnlich von Platin, die positive bald von diesem bald von jenem Metall.

War die Lösung von der Art, daß sie durch die Luft eine Zersetzung erlitt, so stand sie unter einer Glocke mit Hahn, die ausgepumpt oder mit einem unschädlichen Gas gefüllt werden konnte.

Außer diesem Zersetzungsapparat war ein Voltometer in die Bahn des Stromes eingeschaltet, der gewöhnlich durch eine Batterie von 30 schwach geladenen Elementen hervorgebracht war.

Folgende Tabelle giebt die Resultate einer ersten Versuchsreihe.

	Gelöst in	Zersetztes Wasser Milligramm	Gefälltes Metall berechnet	Gefälltes Metall gefunden
			Milligramm	Milligramm
Zinnchlorür . . $SnCl$	Wasser	3,81	24,9	25,0
Chlorsilber . . $AgCl$	Ammoniak	1,29	15,5	16,5
Eisenchlorür . . $FeCl$	Wasser	1,5	4,6	5,0
Kupferchlorür . . Cu_2Cl	Salzsäure	1,93	6,78	13,5
Antimonchlorid . Sb_2Cl_3	desgl.	11,0	78,8	51,5
desgl. 2ter Versuch . .	desgl.	1,29	9,2	6,0

Die dritte Columne giebt die Quantität des im Voltameter zersetzten Wassers an, in der vierten Columne findet man, wie viel Metall an der negativen Elektrode des Zersetzungsapparates hätte niedergeschlagen werden müssen, wenn für jedes Aequivalent im Voltameter zersetzten Wassers hier 1 Aeq. Metall ausgeschieden würde; die fünfte Columne endlich giebt die wirklich niedergeschlagenen Metallmengen an.

In den drei ersten Fällen wurde wirklich für 1 Aeq. Wasser, welches im Voltameter zersetzt wurde, auch 1 Aeq. Metall an der negativen Polplatte des Zersetzungsapparates niedergeschlagen; in allen den drei Fällen bestanden aber auch die elektrolysirten Chlormetalle aus 1 Aeq. Metall auf 1 Aeq. Chlor.

Das Kupferchlorür enthält 2 Aeq. Kupfer auf 1 Aeq. Chlor, und in diesem Falle wurden auch im Vergleich zu dem im Voltameter zersetzten Wasser 2 Aeq. Kupfer im Zersetzungsapparat niedergeschlagen.

Aus dem Antimonchlorid wurden nur $^2/_3$ Aequivalent Antimon entwickelt, und in der That enthält es auch nur $^2/_3$ Aeq. Metall auf 1 Aequivalent Chlor.

Berechnet man die zum positiven Pol des Zersetzungsapparates ge-

führte Menge Chlor, so ergiebt sich, daß gegen jedes Aequivalent zersetzten Wassers auch 1 Aeq. Chlor entwickelt wurde.

Dieses Gesetz erhielt eine fernere Bestätigung durch eine weitere Versuchsreihe, in welcher nicht das gefällte Metall, sondern das ausgeschiedene Chlor bestimmt ward, und zwar durch den Verlust, welchen die aus Kupfer bestehende Elektrode erlitt. Auf diese Weise wurde verfahren mit

Kupferchlorid . .	$CuCl$
Eisenchlorid . . .	Fe_2Cl_3
Zinnchlorid . . .	$SnCl_2$
Antimonhyperchlorid	Sb_2Cl_5.

Das in der Voraussetzung einer Aequivalenz mit dem Wasser berechnete Chlor stimmt hier in allen Fällen mit dem beobachteten überein, obgleich nur eine dieser Verbindungen, nämlich $CuCl$, zu gleichen Aequivalenten aus den Bestandtheilen zusammengesetzt ist.

Jod- und Brommetalle führten zu demselben Resultat.

Auch mit Oxyden stellte Becquerel Versuche an. Er löste Kupferoxydul Cu_2O und Kupferoxyd CuO, jedes für sich, in Ammoniakflüssigkeit und verschloß die Flasche luftdicht mittelst eines Korkes, welcher die Drähte der Elektroden hindurch ließ. Zugleich mit einer dieser Lösungen war in den Kreis der Kette, die nur aus einem constanten Zinkkupfer-Element bestand, eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd eingeschaltet, die als Voltameter diente. Diese Versuche, deren jeder mehrere Stunden dauerte, gaben das Resultat, daß auf 1 Aeq. Kupfer, welches sich an der negativen Polplatte des mit salpetersaurem Kupferoxyd gefüllten Voltameters ausschied,

2 Aeq. Kupfer aus der Lösung von Cu_2O
1 » » » » » » CuO

niedergeschlagen wurde.

Die letzte binäre Verbindung, welche Becquerel untersuchte, war das oxydirte Wasser HO_2. Auf jedes Aequivalent Wasser, welches in dem gleichzeitig in den Strom eingeschalteten Voltameter zersetzt wurde, wurden 2 Aeq. Sauerstoff aus dem oxydirten Wasser am positiven Pole frei.

Die Untersuchung der Elektrolyse verschiedener Salzlösungen führte im Wesentlichen zu ähnlichen Resultaten, wie wir sie schon aus den Arbeiten von Daniell kennen lernten.

Der von Faraday aufgestellte Satz, daß binäre Verbindungen nur dann Elektrolyte sind, wenn sie aus gleichen Aequivalenten beider Bestandtheile zusammengesetzt sind, hat sich demnach als unhaltbar erwiesen, indem viele Körper direct durch den Strom zerlegbar sind, welche dieser Bedingung nicht entsprechen.

In Beziehung auf die Quantität der Zersetzung kann man das Resultat der Becquerel'schen Untersuchung am besten so ausdrücken, wie es Poggendorff in einer Anmerkung zum Becquerel'schen Aufsatz formulirt hat: daß bei Gleichheit der Stromstärke für jedes Aequivalent Wasser auch ein Aequivalent irgend welcher Verbindung zersetzt wird, sobald dieselbe überhaupt zersetzbar ist.

178 **Bildung von Chlorstickstoff durch Elektrolyse.** Wenn man eine gesättigte Auflösung von Salmiak zwischen Platinelektroden dem galvanischen Strom aussetzt, so entwickelt sich am negativen Pol Wasserstoffgas; am positiven Pol aber kein Chlor, und wenn die Lösung concentrirt genug ist, auch kein Sauerstoffgas; dagegen bedeckt sich die positive Platinplatte mit kleinen gelblichen öligen Tropfen von Chlorstickstoff.

Gießt man auf die Lösung eine Schicht Terpentinöl, so explodiren die aufsteigenden Tröpfchen, sobald sie mit dem Terpentinöl in Berührung kommen, unter Knall und Lichterscheinung. — Es ist zweckmäßig, die positive Polplatte nicht vertical, sondern geneigt in die Flüssigkeit zu stellen.

Diese interessante Erscheinung ist, ohne daß einer vom andern etwas wußte, fast gleichzeitig von Kolbe, welcher sich damals in England aufhielt, und von Böttger in Frankfurt entdeckt worden. Kolbe beschreibt die Bildung von Chlorstickstoff durch die Elektrolyse einer gesättigten Salmiaklösung im Philos. Magaz. XXX, Seite 336. Böttger, welcher meines Wissens darüber nichts publicirt hat, zeigte den Versuch im Gießener Laboratorium.

Die Bildung des Chlorstickstoffs ist offenbar eine secundäre Wirkung. Betrachten wir den Salmiak als Chlorammonium H_4NCl, so wird dieser Körper so zerlegt, daß Cl an den positiven, H_4N an den negativen Pol tritt. Aus H_4N entwickelt sich 1 Aeq. Wasserstoff, welcher gasförmig entweicht unter Zurücklassung von H_3N, während das am positiven Pol nascirende Chlor das Chlorammonium unter Bildung von Chlorstickstoff und Salzsäure zersetzt. Wenn nämlich zu Chlorammonium H_4NCl 6 Aeq. Chlor, also 6 Cl hinzutreten, so bildet sich 4 HCl (4 Aeq. Salzsäure) und Chlorstickstoff, NCl_3.

179 **Oxydationswirkungen des am positiven Pol der Kette ausgeschiedenen Sauerstoffs.** Der Sauerstoff, welcher durch den galvanischen Strom an der positiven Polplatte ausgeschieden wird, hat im Augenblicke seiner Entstehung sehr stark oxydirende Eigenschaften, so daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht direct eingeht. Kolbe hat über diesen Gegenstand interessante und wichtige Versuche angestellt.

Eine gesättigte wässerige Lösung von Chlorkalium wird durch den Strom einer aus 4 Bunsen'schen Bechern gebildeten Säule zwischen Platinelektroden in der Weise zersetzt, daß sich zuerst Chlorgas am positiven, Wasserstoff am negativen Pol ausscheidet und freies Kali gebildet wird, wovon die Flüssigkeit eine alkalische Reaction annimmt. In dem Maaße, als bei fortschreitender Zersetzung die Flüssigkeit an Chlorkalium ärmer wird, erstreckt sich die Elektrolyse zugleich auch auf das Wasser, indem am positiven Pol neben dem Chlor gleichzeitig Sauerstoff frei wird, welcher zum Theil gasförmig entweicht, zum Theil sich chemisch mit dem Chlor erst zu unterchloriger Säure (ClO), zuletzt zu Chlorsäure (ClO_5) verbindet, die in der alkalischen Lösung sich an Kali gebunden finden.

Die Bildung des chlorsauren Kali's kann unter diesen Umständen allerdings als das Resultat der Einwirkung des Chlors auf das freie Kali betrachtet werden.

Der nämliche Zersetzungsproceß findet aber auch statt, wenn man der Lösung des Chlorkaliums selbst noch mehr Schwefelsäure zusetzt, als dem Aequivalent des Kaliums entspricht, so daß kein freies Alkali auftreten kann, mit dem einzigen Unterschiede, daß sich dabei **überchlorsaures Kali** ($KO . ClO_7$) bildet, welches beim Erkalten aus der sich erhitzenden Flüssigkeit gewöhnlich herauskrystallisirt.

Endlich liefert auch reine Salzsäure, besonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, ein Gemenge von freier Chlorsäure und Ueberchlorsäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pol und Wasserstoff am — Pol in Masse entweichen. Hieraus geht hervor, daß sich Chlor und Sauerstoff im status nascens auch ohne Gegenwart von freiem Alkali direct mit einander vereinigen, während man bisher gewohnt war, die sogenannte prädisponirende Verwandtschaft als wesentliche Bedingung zu ihrer Bildung (beim Durchleiten von Chlor durch Kalilauge) anzusehen.

Cyankaliumlösung wird unter den obigen Verhältnissen leicht oxydirt und liefert cyansaures Kali ($KO . CyO$). Eine der Chlorsäure oder Ueberchlorsäure entsprechende höhere Oxydationsstufe des Cyans konnte Kolbe bei fortgesetzter Elektrolyse des cyansauren Kali's nicht erhalten. Ebenso wenig lieferte eine Lösung von Fluorkalium eine Sauerstoffverbindung des Fluors.

Mittelst des Stromes ist es Kolbe auch gelungen, aus der Chlorkohlenunterschwefelsäure, $HO + C_2Cl_3S_2O_5$ (Liebig's Annalen, Bd. 54, S. 157; Philos. Magaz. XXX. 334.) Oxydationsproducte zu erhalten, während diese Säure sonst den kräftigsten Oxydationsmitteln widersteht,

indem sie mit Chromsäure, Salpetersäure u. s. w. gekocht, keine Veränderung erleidet.

Wenn eine concentrirte Auflösung von chlorkohlenunterschwefelsaurem Kali zwischen Platinelektroden dem Strom einer Bunsen'schen Säule von 4 Bechern ausgesetzt wird, so beobachtet man anfangs am negativen Pole keine Entwickelung von Wasserstoffgas, während Chlor, Kohlensäure und später auch Sauerstoff am positiven Pole aufsteigen.

Sobald die Zersetzung beginnt, wird eine saure Reaction in der Flüssigkeit bemerklich, welche von der Bildung freier Salzsäure und Schwefelsäure herrührt. In einer späteren Periode, wenn diese Säuren an Menge zugenommen haben, erscheint Wasserstoff am negativen Pole, während endlich, nachdem alle Salzsäure zersetzt ist und die Chlorentwickelung aufgehört hat, überchlorsaures Kali in kleinen octaedrischen Krystallen sich aus der Flüssigkeit ausscheidet, welche noch freie Schwefelsäure und doppeltschwefelsaures Kali enthält.

Diese Resultate erklären sich nun folgendermaßen. Der Sauerstoff, welcher in Folge der Wasserzersetzung am positiven Pole frei wird, tritt an die Säure und bewirkt, daß sie in verschiedene Verbindungen zerfällt. Die Oxydation der Säure ist vollendet, wenn sie 12 Aequivalente Sauerstoff aufgenommen hat, in diesem Falle aber erklärt sich ihr Zerfallen in folgender Weise:

$$\left.\begin{array}{r} KO + C_2Cl_3S_2O_5 \\ 12O \end{array}\right\} \begin{array}{l} KO + ClO_7 \\ 2SO_3 \\ 2CO_2 \\ 2Cl. \end{array}$$

Es bildet sich also überchlorsaures Kali, Schwefelsäure, Kohlensäure und freies Chlor. Die Bildung der Ueberchlorsäure findet jedoch nicht gleich zu Anfang der Elektrolyse statt, indem Anfangs nur Chlorsäure entsteht. Dampft man bei einem früheren Stadium der Zersetzung, bevor noch die octaedrischen Krystalle des überchlorsauren Kalis auszukrystallisiren anfangen, die Flüssigkeit ein, so erhält man die wohlbekannten rhombischen Tafeln des chlorsauren Kalis.

Während der am positiven Pol entwickelte Sauerstoff diese Oxydationswirkungen hervorbringt, entweicht aber auch am negativen Pol kein Gas, indem der hier auftretende Wasserstoff ebenfalls mehrere Verbindungen eingeht. Ein Theil dieses Wasserstoffs substituirt nämlich 1 oder 2 Aequivalente Chlor und bildet die Säuren $HO + \left(C_2\left\{\begin{array}{l}H\\Cl_2\end{array}\right.\right)S_2O_5$, Chlorformylunterschwefelsäure, und $HO + \left(C_2\left\{\begin{array}{l}H_2\\Cl\end{array}\right.\right)S_2O_5$, Chlorelaylunterschwefelsäure, zwei Säuren, welche Kolbe gleichfalls im 54. Bande von Liebig's Annalen näher bespricht; ein anderer Theil des Wasserstoffs verbindet sich mit dem ausgeschiedenen Chlor zu Salz-

säure. Diese Säuren werden aber am positiven Pole gleichfalls oxydirt, und so geht dieser Oxydationsproceß fort, bis alles Chlor der Flüssigkeit theils in Ueberchlorsäure verwandelt theils entwichen ist.

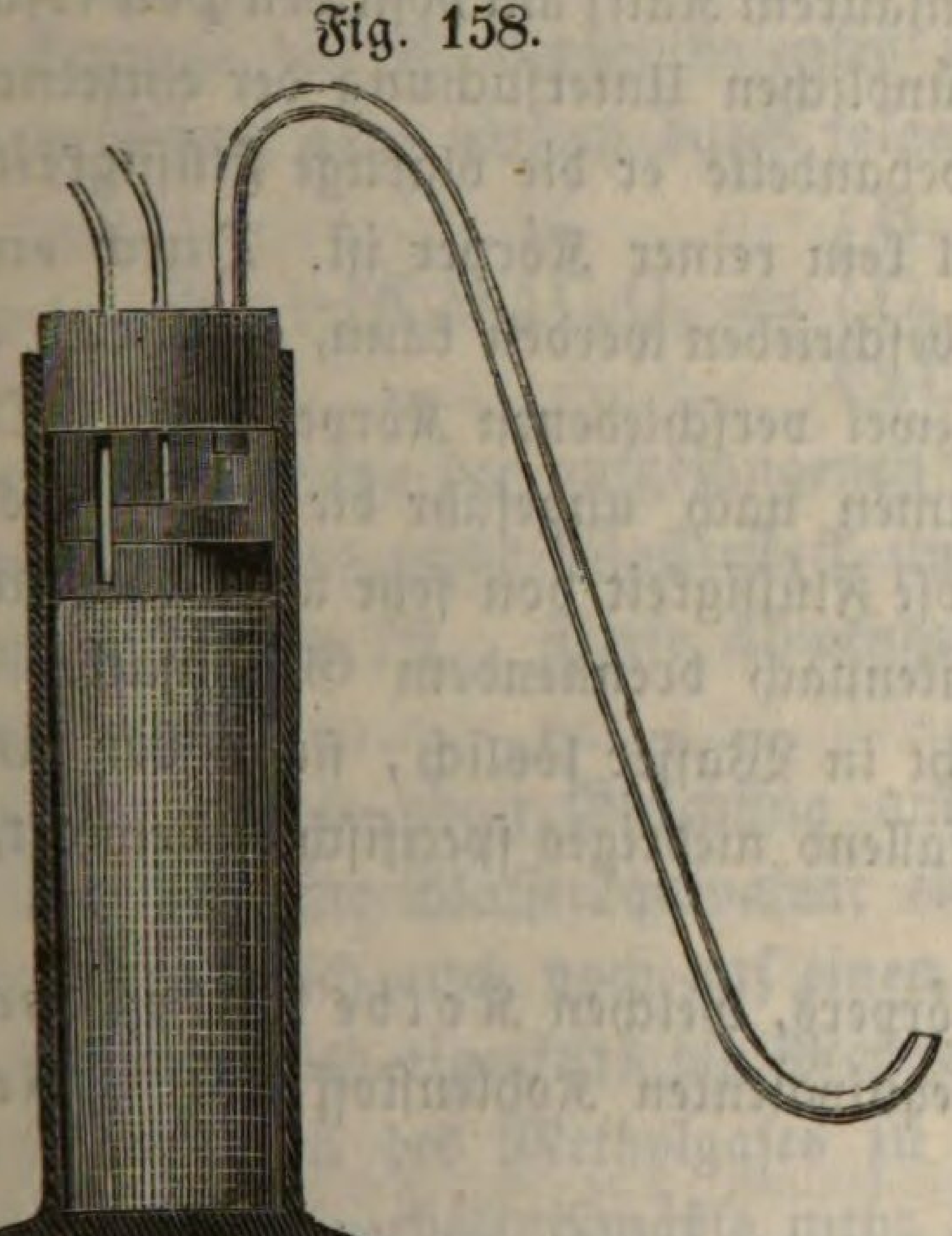
Die eben besprochenen Zersetzungserscheinungen lassen sich nun durch die Annahme erklären, daß die Wasserzersetzung die primäre, die Oxydation der Säure die secundäre Wirkung sey. Die Daniell'sche Theorie über die Elektrolyse der Salzlösungen ist hier durchaus unanwendbar. Nach dieser Theorie müßte man das Salz betrachten als $K + (C_2 Cl_3)\ S_2 O_6$; die am positiven Pole ausgeschiedene saure Verbindung müßte zerfallen in 2 Aequivalente Schwefelsäure und in das unlösliche Kohlensesquichlorid C_2Cl_3. — Die Oxydation des Chlors erfordert durchaus die Annahme einer primären Wasserzersetzung.

Elektrolyse der Valeriansäure und der Essigsäure. Kolbe hat 180
dadurch, daß er organische Substanzen der Elektrolyse unterwarf und den Gang der Zersetzungen genau verfolgte, einen Weg betreten, welcher für die Wissenschaft von großer Bedeutung zu werden verspricht. Wir wollen hier die Untersuchungen Kolbe's so weit verfolgen, als es zur Erkenntniß der elektrolytischen Seite der Erscheinungen nöthig ist, ohne jedoch auf die Discussionen über die Constitution der untersuchten organischen Substanzen uns einzulassen.

Die ausführliche Abhandlung, in welcher Kolbe die Elektrolyse organischer Verbindungen behandelt, findet sich in den Annalen der Chemie und Pharmacie, Band LXIX. Seite 257.

Da die freie Valeriansäure den galvanischen Strom schlecht leitet, so bediente sich Kolbe zur elektrolytischen Zersetzung derselben einer concentrirten wässerigen Lösung ihres Kalisalzes. Der Zersetzungsapparat war ungefähr so eingerichtet, wie der Fig. 158 abgebildete. Der Glascylinder war ungefähr 11 Zoll hoch und $2^1/_2$ Zoll weit. Der äußere Metallcylinder ist von Kupfer-, der innere von Platinblech. Der Kupfercylinder wurde mit dem negativen, der Platincylinder mit dem positiven Pol einer aus 4 Bunsen'schen Bechern bestehenden Säule verbunden.

Fig. 158.



Wenn dieser Apparat mit einer Lösung von **valeriansaurem Kali**, $KO + (C_8H_9)C_2O_3$, gefüllt ist und der Strom in der angedeuteten Weise durch die Flüssigkeit hindurchgeht, so findet an beiden Polen eine lebhafte Gasentwickelung statt, und gleichzeitig scheiden sich auf der Oberfläche der Flüssigkeit leichte, in der Regel schwach gelblich gefärbte, ölartige Tropfen von angenehmem ätherischen Geruche ab. Die entweichenden stark riechenden Gase enthalten, nachdem alle atmosphärische Luft aus dem Apparate verdrängt ist, keine Spur von Sauerstoff. Das Gasgemisch besteht aus Wasserstoff, Kohlensäure und einem dritten Gase, welches mit stark leuchtender Flamme brennt und dem Gemisch den eigenthümlichen Geruch verleiht.

Nach Stunden lang fortgesetzter Einwirkung des Stromes ist die auf der Flüssigkeit sich ansammelnde Oelschicht bis zu einer Höhe von mehreren Linien angewachsen und das valeriansaure Kali zum größten Theil in ein Gemenge von einfach- und zweifachkohlensaurem Kali verwandelt, welches letztere gewöhnlich am Ende der Zersetzung theilweise herauskrystallisirt. Um zu erfahren, an welchem Pole jedes dieser Producte auftritt, brachte Kolbe die Platinplatte in eine poröse Thonzelle, die oben luftdicht geschlossen und mit einem Gasentbindungsrohre versehen war. Diese Zelle, mit valeriansaurem Kali gefüllt, wurde in ein gleichfalls eine Lösung dieses Salzes enthaltendes Glasgefäß gesetzt, in welchem sich der als negativer Pol dienende Kupfercylinder befand. Es ergab sich auf diese Weise, daß von den genannten Zersetzungsproducten außer freiem Kali nur Wasserstoff auftrat, während alle übrigen Producte, das ätherische Oel, die Kohlensäure und die riechende Gasart neben freier Säure (die Anordnung des Apparates verhinderte die Bildung von kohlensaurem Kali) am positiven Pole erschienen.

Kolbe ging nun zu einer gründlichen Untersuchung der einzelnen Zersetzungsproducte über. Zuerst behandelte er die ölartige Flüssigkeit. Es zeigte sich bald, daß das rohe Oel kein reiner Körper ist. Durch ein Verfahren, welches hier nicht näher beschrieben werden kann, ermittelte er, daß das rohe Oel ein Gemisch aus zwei verschiedenen Körpern ist. Das gereinigte Oel, welches dem Volumen nach ungefähr die Hälfte des rohen ausmacht, bildet eine klare, farblose Flüssigkeit von sehr angenehmem ätherartigen Geruch, und fadem hintennach brennendem Geschmack. Es ist in Alkohol und Aether, aber nicht in Wasser löslich, siedet bei 108°, ist sehr entzündlich und hat ein auffallend niedriges specifisches Gewicht, nämlich 0,694.

Die chemische Formel dieses Körpers, welchen Kolbe **Valyl** nennt, ist C_8H_9, d. h. er besteht aus 8 Aequivalenten Kohlenstoff und 9 Aequivalenten Wasserstoff.

Das rohe Oel ist Valyl, verunreinigt durch valeriansaures Valyloxyd, also Valyl gemischt mit $C_8H_9O + (C_8H_9)C_2O_3$.

Das riechende Gas, welches mit der Kohlensäure entweicht, ist ebenfalls ein Kohlenwasserstoff und zwar C_8H_8, also gleich zusammengesetzt mit dem ölbildenden Gas, mit dem es in seinem Verhalten gegen Chlor viele Aehnlichkeit hat, aber von doppelt so großem specifischen Gewichte.

Der ganze Hergang dieser Zersetzungen läßt sich nun leicht übersehen. Durch den in Folge der Elektrolyse am positiven Pole entwickelten Sauerstoff wird die Valeriansäure $(C_8H_9)C_2O_3$ oxydirt und zerfällt in Valyl C_8H_9 und Kohlensäure C_2O_4, oder vielmehr allein das Valyl selbst unterliegt wieder einer theilweisen Oxydation, es bildet sich Valyloxyd C_8H_9O, welches mit Valeriansäure sich verbindet und, mit dem übrigen bleibenden Valyl gemischt, das rohe Oel bildet. Außerdem macht sich noch ein secundärer Oxydationsproceß des Valyls dadurch geltend, daß der nascirende Sauerstoff ihm 1 Aequivalent Wasserstoff entzieht, um mit demselben Wasser zu bilden, wodurch denn der dem ölbildenden Gase homologe Körper C_8H_8 entsteht, welcher mit der Kohlensäure am $+$Pol entweicht.

Ganz analoge Zersetzungen erleidet die Essigsäure durch den Einfluß des galvanischen Stromes. Da die Essigsäure zu schlecht leitet, so unterwarf Kolbe gleichfalls das Kalisalz derselben der Untersuchung. Die Essigsäure $(C_2H_3)C_2O_3$ erleidet ganz in der Art, wie wir es bei der Valeriansäure gesehen haben, am $+$Pol eine Oxydation, in Folge deren sie in Methyl, C_2H_3, und Kohlensäure, C_2O_4, oder vielmehr $2CO_2$ zerfällt, welche Körper beide am $+$Pol gasförmig entweichen, während das Wasserstoffäquivalent, welches dem am positiven Pol oxydirenden Sauerstoff entspricht, am $-$Pol aufsteigt. Denken wir uns die reine Essigsäure mit 1 Aequivalent Wasser verbunden, so erklärt sich der Hergang durch die Elektrolyse des Wasseräquivalentes und die daraus erfolgende Oxydation der Säure ganz einfach durch folgende Gleichung:

$$HO + (C_2H_3)C_2O_3 = \begin{cases} H \ldots . & 2 \text{ Volum} \\ C_2H_3 & 2 \text{ Volum} \\ 2CO_2 & 4 \text{ Volum.} \end{cases}$$

Die Untersuchung der aufgefangenen Gase zeigt aber, daß im Vergleich zu dem Methylgas mehr Wasserstoff und mehr Kohlensäure in dem Gasgemenge enthalten ist. Diese Abweichung läßt sich aber auch leicht erklären.

So wie es die obige Gleichung andeutet, würde der Vorgang seyn, wenn nur das eine Wasseräquivalent elektrolysirt würde; allein die Elektrolyse erstreckt sich auch noch auf einen andern Theil des Wassers der Lösung, dadurch wird einerseits die Menge des Wasserstoffs vermehrt, andererseits ein Theil des Methylgases zu Kohlensäure und Wasser oxydirt, so daß also auch verhältnißmäßig mehr Kohle gebildet wird. Auch enthält das Methylgas stets eine geringe Beimengung von Methyloxyd.

181 **Galvanoplastik.** Nachdem bereits im September 1836 de la Rive (Philosophical Magazine, Dingler, 105. Bd.) darauf aufmerksam gemacht hatte, daß das in der Daniell'schen Kette niedergeschlagene Kupfer von dem Kupfer der Kette ablösbar und ein mikroskopisch genauer Abdruck desselben sey, so kamen Jakobi und Spencer, wie es scheint, fast gleichzeitig auf den Gedanken, dieses praktisch nutzbar zu machen, was denn auch bekanntlich den entschiedensten Erfolg hatte.

Jakobi setzte wirklich zuerst 1839 eine Daniell'sche Kette zusammen, in welcher eine gravirte Kupferplatte angewendet wurde, machte jedoch sogleich auch Versuche in einer abgesonderten Zersetzungszelle, wo er als Anode der gestochenen Kupferplatte eine andere gegenüber anbrachte, wodurch er die Kupfervitriollösung stets gesättigt erhielt *). Er fand auch sogleich, daß etwas angesäuerte Kupfervitriollösung wirksamer sey, und daß sich das Kupfer pulverig ausscheide, wenn der Strom zu stark werde; er bemerkte, es dürfe im Allgemeinen nicht über 50 — 60 Gran Kupfer pro Quadratzoll in 24 Stunden reducirt werden, wenn es compact werden soll. Zur bessern Beurtheilung der Stromstärke schaltete er eine ganz einfache Bussole ein. Jakobi gab bald darauf eine eigene Schrift hierüber heraus unter dem Titel: »die Galvanoplastik«, Petersburg 1840. Spencer's Versuche (Dingler's Journal, 75. Bd. 1840, und Mechanics Magazine Nr. 846) gehen nach seiner Angabe bis in das Jahr 1837 zurück; er wendete keine abgesonderte Zersetzungszelle an, sondern eine Daniell'sche Kette wie Jakobi, und zwar mit einer Scheidewand von Gyps, statt dessen man auch unglasirten Thon nimmt, Kochsalz beim Zink. Die Scheidewand ging vertical durch einen Trog von entsprechenden Dimensionen und bildete so die zwei Zellen. Daß das Zink nicht amalgamirt seyn dürfe und seine Dicke mit der Dicke der verlangten Kupferschichte in einem gewissen — aber nicht angegebenen — Verhältnisse stehen müsse, wie Spencer anfänglich angab, hat sich später auf keine Weise bestätigt. Spencer wollte anfänglich auf eine dickgefirnißte Platte radiren, die radirten Züge galvanoplastisch ausfüllen, in der Hoffnung, sie würden fest auf der Unterlage von Kupfer haften und dann zum Abdruck wie Holzstiche verwendet werden können; er erreichte jedoch hierin keinerlei Resultate von praktischem Erfolge. Anfänglich hielt das niedergeschlagene Kupfer nicht auf der Platte, bis er diese mit Salpetersäure anätzte. Uebrigens hatte er die Sache sogleich bei der ersten Publication bereits nach allen Richtungen verfolgt. So formte er gestochene Kupferplatten galvanisch ab oder preßte sie in Blei ab, um sie als Modell für weitere galvanoplastische

*) Die in §. 176 angeführte Erscheinung, daß das Kupfer nicht zum negativen Pol wandert, wirkt hier nicht störend, da die Platten immer nur geringe Entfernung haben und die Anode sich gewöhnlich über der Kathode befindet.

Abzüge zu benutzen, wobei er die gestochene Platte warm mit Wachs überzog und dieses wieder sorgfältig abwischte, um das Zusammenwachsen zu verhüten; ebenso machte er Formen aus Gyps und Thon, die er zuerst mit Leinölfirniß, und nach dessen Abtrocknen mit Mastixfirniß überzog und zuletzt mit Broncepulver überpuderte oder mit Blattgold auslegte; solche Formen wurden durch einen mit Firniß oder Siegellack überzogenen Kupferdraht mit der Zinkplatte verbunden.

Die ursprüngliche Idee Spencer's, erhabene Typen zum Drucke zu erhalten, änderte später (Patent vom Jahre 1841 [Dingler's Journal, 95. Bd.]) von Kobell in München dahin ab, daß er eine Kupferplatte dick mit Kupferstecherfirniß überzog, diesen mit Graphitpulver (fein gemahlen und geschlämmt) leitend machte und dann hineinradiren ließ bis auf die Kupferplatte; größere helle Stellen wurden dann noch besonders mittelst eines Pinsels mit Wachs überzogen und wieder leitend gemacht. Die ganze Platte wurde sodann galvanoplastisch mit Kupfer überlegt. Um die Trennung zu erleichtern, hatte von Kobell schon früher bei gestochenen Platten dieselben durch Eintauchen in eine Lösung von Chlorsilber und Kochsalz schwach versilbert. Indessen findet sich im 95. Bande von Dingler die gleiche Methode unter dem Namen Glyphographie von Palmer beschrieben.

Später wurde nach Jakobi's Angabe bei galvanoplastischen Arbeiten, wo keine besondere Zersetzungszelle angewendet wurde, dem Apparat die Einrichtung gegeben, daß man das Zink auf einige untergelegte Stückchen Holz oder Glas horizontal in ein hölzernes oder gläsernes Gefäß legte, dessen Boden bei kleineren durch eine Schweinsblase, bei größeren durch irgend eine andere stärkere thierische Membran, selbst durch lohgares Kalbleder gebildet ist. Dieses Gefäß wird in ein zweites größeres gesetzt und durch passende Unterstützung so getragen, daß es von dessen Boden einen Abstand von 1 — 4 Zollen erhält; in das größere Gefäß legt man nun eine Kupferplatte, auf welche die zu überziehende Kupferplatte gelegt wird, nachdem sie vorher mit Fett sorgfältig eingerieben und wieder abgewischt, oder vorher leicht versilbert wurde. Der Rand der untern Platte wird mit Wachs überzogen, so weit er nicht von der als Form dienenden Platte bedeckt ist. An die untere Platte werden je nach ihrer Größe ein oder mehrere Kupferdrähte gelöthet, welche mit Wachs überzogen sind und außerhalb in Quecksilbernäpfe tauchen, in welche auch eben so viele an das Zink gelöthete Drähte reichen. Der Apparat kann auf diese Art des Nachsehens wegen leicht auseinander genommen werden. Zum Zink kommt, wie in jeder Daniell'schen Kette, sehr verdünnte Schwefelsäure und zu der Form Kupfervitriollösung, die man dadurch gesättigt erhält, daß man gepulverte Krystalle in einem Säckchen hineinhängt. Formen von Gyps

und Thon erhalten eingesteckte Drähte, bis zu welchen hin dieselben ebenfalls leitend gemacht werden, doch überdeckt man diese Stellen später wieder mit Wachs, damit sich hier kein Kupfer ablagere und die spätere Trennung erschwere.

Die Trennung der Kupferplatten geschieht so, daß man beide in den Schraubstock nimmt und ringsum befeilt, wo man dann da und dort eine Spalte bemerkt, in die man einen Hornspattel oder ein ähnliches Werkzeug einführen kann, um die Trennung zu bewirken, wozu manchmal auch eine mäßige Erwärmung beiträgt. Die zuerst erhaltene Platte dient wieder als Form, die Trennung von dieser ist aber keiner Schwierigkeit unterworfen.

Man benutzt manchmal einen ähnlichen Apparat, wie der vorhin beschriebene, um auf die untere Kupferplatte mehrere kleinere Gegenstände zugleich stellen zu können. Wenn der Proceß mehrere Tage dauert, so muß man täglich den Apparat auseinandernehmen, an dem niedergeschlagenen Kupfer die Warzen mit der Feile entfernen, das gesäuerte Wasser beim Zink erneuern, und ebenso die Kupfervitriollösung und das Zink selbst von dem darauf abgesetzten Schlamme reinigen.

Indessen zeigten sich bei der galvanoplastischen Nachbildung von Kupferplatten doch auch manche Uebelstände; so machte Gerlach (Dingler's Journal, 82. Bd., und Journal für praktische Chemie, Sept. 1841) namentlich nebst Anderm auch darauf aufmerksam, daß die galvanischen Kupferplatten spröde seyen, daß sie zwar diese Eigenschaft durch Erhitzen verlieren, bei letzterem aber dann um $1/_{22}$ lineär größer würden, was bei ungleicher Ausdehnung sogar Verzerrungen herbeiführen könne. Gerlach meint nach einigen Versuchen, man könnte vielleicht die Sprödigkeit wegnehmen, ohne die Ausdehnung in gleichem Grade zu erhalten, wenn man die Platten nur bis zur Hitze des schmelzenden Zinnes etwa erwärmen würde, ohne aber Genaueres darüber anzugeben. Dann fand man ferner, daß doch mitunter die Kopie mit dem Original zusammenwachse, oder sich in unterhöhlten Linien einhake, und Elsner findet es darum bedenklich (Dingler's Journal, 80. Bd., und Journal für prakt. Chemie, 1841, Bd. 22.), eine kostbare Platte diesem Verfahren zu unterwerfen. Die Contractionen, die bei Erzeugung der Form — namentlich aus Gyps — stattfinden, so wie die Möglichkeit des Verbiegens beim Ablösen und nachherigen Bearbeiten der Rückseite, machen nebst andern bereits angeführten Gründen die Anwendung der Galvanoplastik auf Copirung von Maaßstäben und andern Meßwerkzeugen unanwendbar. Ferner halten, nach de la Rive (Dingler's Journal, 99. Bd.), solche Platten überhaupt wenige Abdrücke aus und es sollen namentlich die Linien galvanisch copirter Holzschnitte innen häufig hohl seyn, weil in den Vertiefungen sich die Kupfervitriollösung nicht gehörig erneuere und daher wegen Erschöpfung die Ab-

lagerung unterbleibe, bis die Linie zuletzt von der Seite überwachse, auch sollen sie sich nicht mit Zinnober abdrucken lassen, da sich Quecksilber ausscheide, was bei gestochenen Platten nicht der Fall sey. Vogel aus Frankfurt prägte daher (Dingler's Journal, 110. Bd.) die Platten — namentlich aber Stahlplatten — in Wachs ab, das vorher mit Graphit bepudert wurde, was nach dem Prägen nochmals geschah, worauf der lose Graphit durch einen Blasebalg entfernt wurde.

Eine eigenthümliche Idee verfolgte bei geätzten Kupferplatten Vogel, indem er die geätzte Platte — gestochene mußten vorher schwach mit Salpetersäure behandelt werden — nach Entfernung des Aetzgrundes ganz überwachsen läßt, dann wieder bis auf die Ebene der ursprünglichen Platte wegschleift, um die ausgefüllte Zeichnung nun in Form eingelegter Arbeit zu erhalten (Dingler's Journal, 106. Bd.). Wie weit diese Idee praktischen Erfolg hatte — etwa wenn Silber niedergeschlagen wurde, z. B. auf Eisen — ist mir nicht bekannt. Knoblauch schlug vor (Dingler's Journal, 105. Bd.) auf einer reingearbeiteten Kupferplatte, Platten für Kupferstecher galvanisch zu erzeugen; da diese keine unganzen Stellen enthalten, auch sogleich eben und polirt seyn würden. Sollen Stereotypplatten galvanoplastisch erzeugt werden, so kann dieses unmittelbar dadurch geschehen, daß man eine zwei bis drei Linien hohe Wachsschicht mit dünngewalztem Blei belegt und einen Abdruck macht, auf welchem man dann die Kupferplatte erzeugt; solche Platten, so wie galvanoplastische Abzüge von Holzstichen werden immer nur dünn genommen, dann auf der Rückseite unter Beihülfe von salzsaurem Zink verzinnt und mit Schriftmetall begossen. Bei Holzstichen wird entweder zuerst eine Form auf galvanoplastischem Wege, indem man das Holz durch Graphit leitend macht, oder durch Prägung erzeugt; soll aber Holz in eine Flüssigkeit kommen, so müssen die nicht zu überziehenden Theile desselben aus doppeltem Grunde gut geschützt werden durch Ueberlegen mit Bleiplättchen und Ueberziehen der letztern mit Wachs.

Eine eigenthümliche Anwendung von der galvanischen Erzeugung der Kupferplatten machte von Kobell (den 4. Mai 1840 der Akademie zu München vorgelegt) und gab ihr den Namen Galvanographie. Er malte nämlich in Tuschmanier mittelst einer Auflösung von Damarharz in Terpentinöl, der Eisenroth zugesetzt wurde, auf eine polirte Kupferplatte und ließ ohne weiteres Leitendmachen dieselbe galvanoplastisch mit Kupfer überziehen. Die gewonnene Platte kann dann sogleich zum Drucke verwendet werden, die Lichter werden am hellsten, wo kein Firniß aufgetragen wurde. Das Ueberwachsen der gefirnißten Stellen geschieht zum Theile von Punkten aus, die sich auf denselben bilden, wo stellenweise das Kupfer der Unterlage durch den Firniß hindurch wirkt, zum Theile aber auch von den

ungedeckten Stellen aus. Da die Platten jedoch nicht viele Abdrücke aushalten sollen, so kann man dieselben zuerst galvanoplastisch vervielfältigen. Von Kobell hat sein Verfahren in einer besondern Schrift auseinandergesetzt (München, Cotta).

Für galvanoplastische Nachbildungen anderer Art, als der Kupferplatten, muß gewöhnlich erst eine Form beschafft werden. Man erhält dieselbe entweder durch Abklatschen in einem leichtflüssigen Metall oder durch Abpressen in weichen Bleiplatten, oder durch Abgießen in Gyps und Wachs, in Gyps allein, oder auch in Wachs allein, oder in Wachs mit gleichen Theilen Colophonium.

Was nun die metallischen Formen betrifft, dürfen dieselben nicht aus Metallen bestehen, welche für sich von der Kupfervitriollösung angegriffen werden, wie Eisen, Zinn, Zink; solche müßten vorher galvanisch gut versilbert werden. Böttger hat im Frankfurter Gewerbefreund von 1840 (Dingler's Journal, 78. Bd.) ein Gemisch aus 8 Wismuth, 8 Blei, 3 Zinn (Schmelzpunkt 86^{0} R.) empfohlen, und empfiehlt metallene Model überall da, wo sie anwendbar seyen. Er gießt das geschmolzene Metall in eine Pappschachtel, rührt es mit einem Eisendrahte, bis es breiig wird und drückt dann den abzuformenden Gegenstand bis zum Erkalten darauf. Auch Abdrücke in dünnes, durch Lauge von Fett gereinigtes Blei empfiehlt Böttger; sie werden unter Beilage von feuchter Pappe in einer Presse — Schraubstock — gemacht. Bei sehr zerbrechlichen Gegenständen kann man Bleifolie — Stanniol ist nicht anwendbar — mit Baumwolle aufreiben und vor dem Abheben mit einer Mischung von Wachs und Harz übergießen, doch möchten in solchen Fällen Abgüsse vorzuziehen seyn.

Bei dem Abgießen mit flüssigem Wachs, worein man Gyps gerührt hat, oder mit Gyps allein, oder mit einer Mischung aus Wachs und Colophonium hat man nur nöthig, den Gegenstand mit einem Papierrande zu umgeben und die gut flüssige, aber blasenfreie Masse darauf zu gießen; die Ablösung darf erst nach vollständigem Erkalten versucht werden und geht in der Regel leicht. Gypsformen müssen aber nachher in geschmolzenes Wachs getaucht werden, um sie wasserdicht zu machen. Auch in Guttapercha macht man Abdrücke, nachdem man sie und den Gegenstand in Wasser langsam erwärmt und beide wieder abgetrocknet hat. Es geschieht am besten unter passenden Beilagen in einem Schraubstocke. Um nun solche und hölzerne Formen leitend zu machen, nahm Spencer (Dingler's Journal, 77. Bd.), nachdem er andere Verfahren, wie Belegen mit Blattgold, Einstäuben mit Graphit, theils zu theuer, theils ungenügend gefunden, $1/_{300}$ Phosphor und löste denselben in 1 Theil starkem Alkohol im Wasserbad auf, tauchte den Model einige Secunden lang in eine schwache Lösung von salpetersaurem Silber und hielt ihn sodann über

die Phosphorlösung, während dieselbe in einem Uhrglase im Sandbade verdunstete. Statt des letzteren Verfahrens schlug Böttger vor, die mit salpetersaurem Silber getränkten Formen in einen Raum zu bringen, in welchen man unentzündliches Phosphorwasserstoffgas leite, welches erhalten wird, wenn man einige Stückchen Phosphor in einer Retorte mit Brennspiritus übergieße, einige Stückchen Aetzkali zusetze und erwärme. Jetzt pudert man gewöhnlich solche Formen mit feingeschlämmtem Graphit, oder mit fein zertheiltem Silber — ächte Silberbronce — ein und reibt das Pulver mit einem feinen Pinsel auf.

Die Nachbildung runder Formen bietet der Galvanoplastik bedeutende Schwierigkeiten, sie werden meist in einer abgesonderten Zersetzungszelle gemacht, und es muß dabei die Größe der Oberfläche des Elementes jener der zu überziehenden Fläche nahezu gleich oder größer seyn. Jakobi versuchte es zuerst so, daß er eine in Wachs modellirte halbrunde Büste leitend machte, sie ganz dünn galvanisch überzog, das Wachs ausschmolz, die Form mit Terpentinöl reinigte und nun auf der innern Seite eine dicke Ablagerung von Kupfer machte, worauf er es versuchte, das äußere dünne Blatt (Dingler's Journal, 78. Bd.) herunter zu reißen, was aber nicht ganz ohne Beschädigung abging. Einem Herrn Soyer in Paris (Dingler's Journal, 78. Bd.) gelang es auf diese Art, eine Büste ziemlich fehlerfrei nachzubilden, worauf er sogleich sich erbot, den bekannten großen Elephanten galvanoplastisch darzustellen, um den Betrag von 200000 Francs. Zu seinem Glücke wohl nahm ihn Niemand beim Worte. Auf ähnliche Weise suchte auch Herzog Max von Leuchtenberg runde Formen darzustellen (Dingler's Journal, 80. Bd.), in dessen Anstalt überhaupt Galvanoplastik auf das Großartigste betrieben wird, da nur von dem schwarzen Pulver, welches sich auf den kupfernen Anoden ansetzt und von Verunreinigungen des käuflichen Kupfers und der angewendeten Schwefelsäure herrührt, und von welchem die Annoden alle 12 Stunden gereinigt werden müssen, in Zeit von — dem Zeitpunkte der Journalnachrichten nach zu urtheilen — höchstens 2 Jahren 40 Pud gesammelt wurde. Auch in Stiglmeyer's Anstalt war man nicht glücklich mit dem Versuche, Statuen in größerem Maaßstabe galvanoplastisch darzustellen. Ein Herr Moyle will zwar (Dingler's Journal, 80. Bd. aus Sturgeon's Annals of Electricity) über Formen von Wachs, was er später ausschmolz, runde Formen dargestellt haben, allein er will der schönsten getriebenen Arbeit ähnliche Gegenstände, namentlich auch von Silber erhalten haben, was eben die Glaubhäftigkeit seiner Angaben sehr herabstimmt. Der Verein für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen setzte auf die Anfertigung einer größern Statue auf galvanoplastischem Wege einen Preis (Dingler's Journal, 108. Bd., aus den Verhand-

lungen des Vereins vom Jahre 1848), den Herr von Hackewitz erhielt. Er fertigte über das Modell eine zerlegbare Form aus 2 Wachs, 2 Terpentin, 1 Colophonium und 5 Graphit, es wurden zuerst die untersten Theile innen leitend gemacht und auf den Fugen, sodann das Zink in einem Beutel aus thierischen Häuten (Därmen), mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, hineingehängt, ohne daß sie die Form berührten, und dann Kupfervitriol zugegossen und das Zink mit der leitenden Form verbunden. War der erste dünne Ueberzug in zwei aufeinander gehörenden Theilen der Form gebildet, so wurden sie zusammengefügt und die Leitung vom Zink im Beutel an die leitend gemachte Fuge geführt, nun noch mehr Kupfer niedergeschlagen und so die beiden schon vorhandenen dünnen Kupferüberzüge in ein Stück vereinigt. Auf gleiche Weise wurden successive die Theile der ganzen Statue zusammengesetzt, mit Ausnahme der Arme, welche jeder für sich auf gleiche Weise gebildet wurden. Da in die ganz engen Theile keine Beutel mit dem Zink eingeführt werden konnten, so wurde für den ersten Ueberzug derselben eine abgesonderte Batterie verwendet. Ein solches Verfahren kann man wohl einem Preise zu lieb unternehmen, allein es zeigt, daß man bis jetzt in diesem Punkte noch durchaus zu keinen praktischen Resultaten gelangt ist. Auf eine ähnliche Weise, wie hier die Theile zusammengefügt wurden, verfährt man auch, um kupferne Ringe galvanisch zu löthen, indem man die Ringe mit Firniß überzieht, die Fuge aber metallisch rein macht und nun Kupfer in die Fuge bis zum Ueberwachsen derselben niederschlägt.

Eine besondere Anwendung der Galvanoplastik machten Mallet und Meillet, indem sie Glas- und Porcellangefäße mit einem dünnen Kupferüberzuge an den dem Feuer ausgesetzten Stellen überzogen. Mallet überzog die Gefäße mit Canadabalsam und Graphit, Meillet aber mit Gummi und salpetersaurem Silber, welchen Anstrich er aber in der Flamme trocknete; allein in der Glühhitze wird diese Zwischenlage zwischen dem galvanisch darauf abgelagerten Kupfer und dem Gefäße zerstört und dadurch der Ueberzug locker. M. Simson schlug nun in der Zeitung für Handels- und Fabrik-Industrie von 1843 (Dingler's Journal, 89. und 91. Bd.) vor, die zu überziehenden Stellen durch Aetzen mit Flußspathsäure rauh zu machen und dann mittelst eines Korkstöpsels mit Graphit einzureiben. Mohr sah solche Gefäße auf der Pariser Ausstellung von 1844, berichtete darüber als ein neues Product in Dingler's Journal, 103. Bd., und versuchte sie nachzumachen; allein er wendete einen Copalfirniß an, den er mit Bronce überpuderte, und so hafteten seine Ueberzüge nur da, wo sie, wie an Retorten und dergleichen, übergreifend seyn konnten, nicht aber an Abrauchschalen. Elsner machte später wieder Versuche hierüber (Dingler's Journal, 108. Bd.), nahm wieder

Firniß und Graphit und wendete auch das Aetzen an; wenn er die Stellen 24 Stunden lang mit einem Brei aus Flußspath und Schwefelsäure bedeckt hatte, so wurden sie nach dem Abwaschen mit Graphit eingerieben und der galvanoplastische Kupferüberzug haftete selbst an Abrauchschalen vollkommen fest, wie dieses übrigens Simson schon jahrelang vorher angegeben hatte, ohne daß es von Elsner erwähnt wird. Glasröhren hat man auf diese Weise — namentlich Mallet — zu vereinigen gesucht; sie werden hiefür am Ende aufgestaucht und ebengeschliffen, dann etwa auf ½—1 Zoll vom Ende durch Firniß und Graphit leitend gemacht; allein sowohl das Befestigen der Röhrenenden gegeneinander, als das Eintauchen der Röhren hat seine Schwierigkeiten; für letzteres muß das Gefäß Oeffnungen haben, die man nach dem Einführen der Röhre wieder mit Thon verstopft, ehe man den Kupfervitriol zugießt.

Talbot und Steinheil haben sich auch damit abgegeben, Metallspiegel galvanoplastisch nachzumachen, auch Wheatstone hat sich damit beschäftigt. Talbot wollte die Kupferspiegel dadurch weiß machen, daß er sie dem Dampfe hydrothionsauren Ammoniaks aussetzte, Steinheil aber vergoldete die Spiegel. Die ursprünglichen Metallspiegel können ohne besondere Vorbereitung als Form benutzt werden. Steinheil wendete besondere Vorsicht an, um die erste Ablagerung schön rein zu erhalten; er nahm sie in einer besondern Zersetzungszelle vor, in der er sich durch eine Probeplatte davon zuerst überzeugt, ob alles in gehörigem Stande sey, d. h. ob schnell sich eine gleichförmige, rosenrothe Ablagerung bildet; nachher brachte er die Form in einen gewöhnlichen einfachen Apparat, wo er die Ablagerung wochenlang fortsetzte, bis der Spiegel zolldick war. Warzen u. dergl. nahm er täglich mit der Feile weg. Dieses Verfahren scheint bis jetzt noch nicht zu praktischen Resultaten geführt zu haben (Dingler's Journal, 99. Bd.).

Auch galvanoplastische Copieen von Daguerreotypbildern, nachdem diese vorher vergoldet sind (Dingler's Journal, 91. Bd., aus Philosophical Magazine, Sept. 43.), wie dieses Draper angab, scheinen bis jetzt ohne Erfolg oder doch wenigstens ohne den beabsichtigten geblieben zu seyn.

Noch weniger ist dieses wohl mit Napier's Verfahren der Fall, welcher leinene Zeuge mit Kupfer überzog, um ein wasserdichtes Zeug zu erhalten. Der Ueberzug sollte pr. Quadrat-Yard nur 12 Unzen wiegen (Dingler's Journal, 91. Bd.).

Um die zu diesen Arbeiten allen erforderliche Vitriollösung wohlfeiler zu erhalten, räth Schubert (Dingler's Journal, 81. Bd., und Erdmann und Marchand's Journal für prakt. Chemie, 1841, Nr. 11.), die Kupferasche der Kupferschmiede zu kaufen, sie mit Schwefelsäure von 15—20° Baumé zu einem dicken Brei anzurühren, diesen auf Tel-

lern von Steingut 24 Stunden stehen zu lassen und dann mit gleicher Schwefelsäure auszuwaschen; nach dem Abgießen und Decantiren wird dieses mit denselben Portionen so lange wiederholt, bis entweder die Kupferasche erschöpft oder die Schwefelsäure gesättigt ist; ersteres erkenne man daran, daß die Asche beim Wiederanfeuchten nicht mehr roth werde, letzteres am Aufhören der sauren Reaction und der gesättigten Farbe. Statt frischer Schwefelsäure verwende man dann später nur die durch galvanoplastische Arbeiten erschöpfte Flüssigkeit.

182 **Vergoldung, Versilberung u. s. w. auf galvanischem Wege.** Man hatte schon seit längerer Zeit beobachtet, daß sich in einzelnen Fällen an Poldrähte, welche in Metalllösungen tauchen, die Metalle in compactem Zustande niederschlugen und fest daran hafteten, und es war auch schon der Gedanke ausgesprochen worden, dieses zu wirklichen Ueberzügen anderer Metalle zu verwenden; allein erst de la Rive gab dieser Sache eine entscheidende Wendung, indem er zeigte, wie man mit Anwendung galvanischer Ströme eine Goldlösung zersetzen müsse, damit der als negativer Pol dienende Gegenstand mit einer dünnen Goldschichte gleichmäßig überzogen — vergoldet würde.

De la Rive (Dingler's Journal, 76. Bd., aus Comptes rendus, 1840, Nr. 14.) nahm eine Lösung von Chlorgold — 40 bis 80 Gran metallisches Gold auf ein Pfund Wasser — in eine Blase und hing diese in »mit einigen Tropfen« Schwefelsäure angesäuertes Wasser, in welches er Zink stellte; den zu vergoldenden Gegenstand verband er durch Kupferdrähte mit dem Zink und tauchte ihn in die Goldlösung; nach ziemlich kurzer Zeit nahm er ihn heraus, spülte denselben, rieb ihn stark mit einem reinen leinenen Tuche, tauchte ihn wieder ein und wiederholte dieses einige Mal. Er hielt nach ein paar Eintauchungen den Gegenstand für stark genug vergoldet und glaubte nicht, das längeres Eintauchen von Nutzen sey; denn unter den Gründen, welche ihn bei diesem Verfahren leiteten, führt er auch folgenden an: »3. Die Eigenschaft des elektrischen Stromes, um so leichter von einer Flüssigkeit in ein Metall und umgekehrt überzugehen, je leichter dieses Metall von der Flüssigkeit angegriffen wird. In dem gegebenen Falle wird das in die Goldauflösung getauchte Metall leichter angegriffen, als das Gold selbst; so lange folglich der eingetauchte Theil nicht gänzlich vergoldet ist, wird der Strom die Punkte aufsuchen, wo das zu vergoldende Metall noch bloß ist, sie durchstreifen und darauf Gold absetzen, wie lang auch der Weg seyn mag, den er zu durchlaufen hat, d. h. so unregelmäßig auch die Form des zu überziehenden Gegenstandes ist.« Die zu vergoldenden Gegenstände wurden rein metallisch gemacht und blieben nach dem Vergolden matt oder polirt, wie sie es vorher waren. Die von de la Rive hervorgebrachten Vergoldungen waren also jedenfalls

nur dünn; übrigens hat er dabei keinerlei Maaßbestimmungen, weder über Stromstärke noch über das Gewicht des abgesetzten Goldes gemacht. De la Rive hat anfänglich nur Silber und Messing unmittelbar vergoldet; Eisen mußte vorher verkupfert werden. Böttger wiederholte auch diese Versuche mit einer möglichst neutralen Goldlösung und will ein Rothwerden des Gegenstandes bemerkt haben, wenn der zu leitende Kupferdraht in die Goldlösung reichte. Kupfer könne gar nicht vergoldet werden, wenn die Goldlösung auch nur Spuren von Kupfer enthalte, es schlage sich dann nur Kupfer nieder und deshalb müsse de la Rive's Angabe von vorherigem Verkupfern eiserner Gegenstände falsch seyn, er habe Stahlfedern u. dergl. sehr gut ohne Verkupferung vergoldet. (Dingler's Journal, 78. Bd., aus dem Frankfurter Gewerbefreund für 1840, Nr. 40.) Mit Chlorplatin könne man auf dieselbe Weise dünn verplatinen. Auch Böttger meint mit 5—6 je eine Minute dauernden Eintauchungen eine starke Vergoldung zu erreichen.

Eisen kann allerdings mit Chlorgold ohne vorherige Verkupferung schwach vergoldet werden und auch Arago legte der Akademie eine von Deut vergoldete Uhrfeder vor (Dingler's Journal, 80. Bd., aus France industrielle, 1841, Nr. 19.) und bemerkte dabei, daß ein Herr Perrot in Rouen schon früher solche gemacht habe und sie der Akademie nur nicht habe vorlegen wollen, bis er eine ganze Uhr während des Ganges würde vergoldet haben (!).

Praktisch wurde jedoch das Vergolden und Versilbern erst, nachdem die Cyanverbindungen eingeführt wurden. Elkington hatte in Birmingham eine Fabrik von Bijouteriegegenständen, wo durch Eintauchen vergoldet und versilbert wurde, und wo man auch Versuche machte, mittelst Chlorgold galvanisch zu vergolden; als aber der Chirurg John Wright die Cyanverbindungen angewendet hatte, erkannte Elkington sogleich die hohe Wichtigkeit des Gegenstandes, kaufte ihm die Sache ab und gewann gerade noch die Zeit, um dieses Verfahren in die Specification seines Vergoldungsverfahrens aufzunehmen, worauf er bereits ein Patent angemeldet hatte. Auch in Frankreich nahm er ein Patent und kam hier mit v. Ruolz in Concurrenz, dessen Patent übrigens ein paar Tage jünger ist, und mit dem sich Elkington ebenfalls verband.

Elkington wendete immer eine getrennte Zersetzungszelle an und für Vergoldung 3 Pfund Cyankalium auf 10 Pfund Wasser und 5 Unzen Silberoxyd oder 2 Pfund Cyankalium, 10 Pfund Wasser, 2 Unzen Goldoxyd an; starke Ueberzüge wurden dabei matt und mußten zwischendurch mit der Kratzbürste behandelt werden. Eisen mußte vorher verkupfert werden; für letzteren Zweck wurde das Eisen unter Berührung mit Zink in auf ½ verdünnte Schwefelsäure gebracht, bis es rein war, dann in eine gesättigte Lösung von angesäuertem Kupfervitriol, der sich

in einem Messinggefäß befand, mit dem man das Eisen in Berührung brachte. V. Ruolz wendete in Cyankalium gelöstes Cyangold und ebenso auch in Cyaneisenkalium (gelbem und rothem) gelöstes Cyangold, auch in neutralem Schwefelkalium gelöstes Schwefelgold an; obwohl letzteres in dem Berichte der Commission, welche die Sache zu untersuchten hatte (Dingler's Journal, 83. Bd., aus Comptes rendus, Nov. 1841.), als das beste genannt wird, so machten sie ihre Versuche doch alle nur mit den Cyanverbindungen. Bei einem solchen Versuche wurde 1 Grm. trockenes Chlorgold in 100 Grm. Wasser mit 10 Grm. gelbem Cyaneisenkalium gelöst und eine Säule von 6 Daniell'schen Elementen, zu 2 Decimeter Seite jede Platte, angewendet; der Niederschlag fand sich der Zeit proportional und es wurden bei bis zu 60° C. erwärmter Flüssigkeit auf eine Messingplatte von 50 Quadr.-Centimeter 0,063 Grm., bei 35° 0,0296, bei 15° 0,0126 Gold pr. Minute niedergeschlagen, während nach den eigends hiefür angestellten Versuchen von Dumas Feuervergoldungen auf gleicher Fläche höchstens 0,1297 und mindestens 0,0214, Vergoldungen auf nassem Wege aber nur 0,0137—0,0211 Grm. Gold besitzen.

Aehnliche Resultate erhielt die Commission bei Lösungen von 1 Cyansilber auf 100 Wasser und 10 gelbem Cyaneisenkalium. Mit Cyanplatin dagegen sey die Ueberziehung 100mal langsamer gegangen, aber mit Doppelchlorplatinkalium in Aetzkali gelöst, sey es so gut gegangen als bei Gold, sagt die Commission der Akademie. Die Versuche über das Verkupfern, Verzinnen, Verkobalten und Vernickeln sind nur oberflächlich angegeben und nur bei Nickel ist seine leichte Ablagerung auf Eisen bemerkt und bei dem Verzinken des Eisens auf sein vortheilhaftes elektrisches Verhalten in Bezug auf den Schutz dieses Metalls aufmerksam gemacht; während später v. Ruolz behauptet (Dingler's Journal, 86. Bd., aus Comptes rendus, Aug. 1842, Nr. 6.), daß verzinktes Eisen an bloßen Stellen viel stärker roste, als verbleites oder verzinntes, was auch Elsner (Dingler's Journal, 88. Bd.) bestätigt. Was für Umstände diese widersprechenden Versuche begleitet haben, ist aus den Aufsätzen nicht zu entnehmen. Wenn dagegen die Commission sagt: »Außerdem kann das Verfahren dazu dienen, um das Eisen mit einem Messingüberzuge zu versehen, wie wir uns überzeugt haben; man braucht nämlich nur Zink und Kupfer niederzuschlagen und dann den Gegenstand in Kohlenpulver zum Rothglühen zu erhitzen, wobei sich Messing erzeugt,« so ist das doch wohl nur eine Schreibpultüberzeugung und ist jenes Stückchen, welches jede solche Prüfungs-Commission meint, zur Erweiterung der neuen Erfindung beitragen zu müssen.

Das neue Verfahren fand allgemeinen Beifall, und man fand bald, daß man mit vier- bis sechsmal verdünnterer Lösung gleich gute Resultate

erhielt, so wie, daß es sicherer sey, nur ein Element anzuwenden, oder nur die einfache Kette, indem man zum Zink Kochsalzlösung nahm, doch zeigte sich auch ein Uebelstand darin, daß bei größern Quantitäten und längerer Dauer der Blausäuregeruch lästig war *), und daß bei Anwendung des Blutlaugensalzes sich gern ein blaugrüner Bodensatz bilde (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.), während die Anwendung des Cyankaliums, bevor Liebig seine neue Bereitungsweise bekannt gemacht hatte, theuer war. Auch vergoldete man anfänglich nicht stark genug, indem man sich seltsame Vorstellungen von Goldersparniß machte, wodurch das Verfahren beim Publikum in Mißcredit kam; denn allerdings kann man im Feuer nicht so schlecht vergolden, als auf galvanischem Wege. Man legte anfänglich auch besonders darauf Werth, daß das Stück vor dem Vergolden ganz fertig gemacht werden könne und fand erst später, daß eine starke Vergoldung immer matt werde. Daß man stellenweise einen Deckgrund auftragen könne, z. B. aus Kupferstecherfirniß oder auch nur aus Wachs, um so nur gewisse Theile zu vergolden, hatte gleich anfänglich von Ruolz bemerkt. Daß man die Farbe der Vergoldung ins Rothe treiben könne durch Zusatz von Cyankupfer, wurde ebenfalls bald bekannt (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.).

Man wendet jetzt gewöhnlich das Cyankalium an, welches nach Liebig's Methode bereitet ist, da es so von Jedermann dargestellt werden kann, obwohl es immerhin noch etwas theuer wird, weil man aus den aufgewendeten Materialien nur wenig erhält. Die Vorschrift Liebig's lautet so: (Dingler's Journal, 84. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, März 1842). »Wenn man 8 Theile Blutlaugensalz auf einem heißen Eisenblech stark trocknet, schwach röstet, sodann fein gepulvert mit 3 Theilen trockenem kohlensauren Kali innig mengt und in einen hessischen Tiegel, den man vorher schwach rothglühend macht, auf einmal einträgt und bei dieser Temperatur erhält, so schmilzt die Mischung anfänglich zu einem braunen Magma unter lebhafter Gasentwickelung; nach einigen Minuten schon, wenn die flüssige Masse Rothglühhitze angenommen hat, sieht man die dunkle Farbe heller werden und beim fortgesetzten Schmelzen wird sie im Tiegel klar und bernsteingelb. Steckt man von Zeit zu Zeit einen heißen Glasstab hinein, so bleibt nach dem Herausziehen das Anhängende nach dem Erstarren anfänglich braun, später wird es gelb und zuletzt, zu Ende der Operation, ist die Flüssigkeit, welche am Glas-

*) Gegen diesen Uebelstand hilft nur Luftzug, allein die Cyanverbindungen bewirken auch alle Symptome der Blausäurevergiftung, wenn man mit wunden Händen in denselben arbeitet und müssen in jeder Beziehung vorsichtig behandelt werden.

stabe hängen bleibt, klar und farblos wie Wasser, und erstarrt zu einer blendend weißen krystallinischen Masse.

»Während des Schmelzens bemerkt man braune Flocken in der Flüssigkeit herumschwimmen, welche sich zuletzt schwammartig vereinigen und eine hellgraue Farbe annehmen. Nimmt man nun den Tiegel aus dem Feuer und läßt ihn etwas abkühlen, so geschieht es meistens, daß sich das graue Pulver vollständig zu Boden setzt; durch ein ein- oder zweimaliges Umrühren mit dem Glasstabe wird dieses Absetzen erleichtert. Die darüber stehende heiße geschmolzene Masse läßt sich nun mit der größten Leichtigkeit in eine heiße Porcellanschale ausgießen, ohne daß bei einiger Vorsicht ein Körnchen des abgesetzten Pulvers mitfolgt.«

Die zerschlagene Masse wird in wohlverschlossenen Gefäßen aufbewahrt, da sie an der Luft zerfließt und sich im flüssigen Zustande zersetzt.

Die Goldlösung bereitet man nun so: das Gold wird dünn ausgewalzt und zerschnitten, in einer Porcellanschale mit seinem siebenfachen Gewichte Salzsäure im Wasserbade erwärmt und so lange mit Salpetersäure nach und nach versetzt, bis alles Gold gelöst ist — oder gerade zu das 10 — 12fache Gewicht Königswasser — und dampft bis zur Trockene ein; man löst das Chlorgold nun in Wasser und trennt durch Filtriren das sich ausscheidende gelbe Goldchlorür, aus welchem durch Behandlung mit heißem Wasser sich das Gold metallisch wieder ausscheidet, und setzt der Lösung so lange kohlensaures Natron zu, bis sich schwache alkalische Reaction zeigt, worauf man Cyankaliumlösung (1 Salz auf 10 — 20 Wasser ungefähr) unter Umrühren so lange zusetzt, bis alles gelöst und die anfängliche Trübung wieder verschwunden ist, worauf man die Lösung $1/2$ Stunde lang aufkocht. Wenn die Farbe der Vergoldung nicht mehr rein wird, soll man etwas kohlensaures Natron zusetzen und wieder aufkochen, oder auch Cyankalium, besonders dann, wenn das Gold an der Anode nicht mehr ordentlich gelöst wird (Ryhiner, Dingler's Journal, 110. Bd.). Die Farbe wird besonders hochroth, wenn bei gelinder Erwärmung gearbeitet wird.

Für die Silberlösung nimmt man 1 krystallisirtes salpetersaures Silber auf 32 destillirtes Wasser und setzt so lange Cyankaliumlösung zu, bis die anfängliche Trübung wieder gelöst ist. (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd., aus den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen.) Auch wendet man frischgefälltes und gut ausgesüßtes Chlorsilber an, von welchem man in eine Lösung von $1/10$ Cyankalium in 1 Wasser so viel nach und nach einträgt, als sich auflöst und dann noch einmal so viel Cyankalium und Wasser zusetzt. Letztere Lösung soll selbst zu silbernen galvanoplastischen Arbeiten dienen. Für die Kupferlösung nimmt man 1 Theil Kupfervitriol auf 12 Theile Wasser und verfährt wie beim Silber.

Allein die Verkupferung geht nicht wohl mit einer einfachen Kette, man muß eine Säule von mindestens 2 — 3 Elementen anwenden.

Eine Menge von Vorschlägen, die Anwendung anderer Verbindungen betreffend, will ich hier übergehen, da dieselben in der Praxis keinen Eingang fanden, und nur beifügen, daß der Niederschlag besonders befördert werde durch Zusatz einer sehr kleinen Quantität von Schwefelkohlenstoff; (Millward und Lyons, Dingler's Journal, 108. Bd., aus Repertory of Patent Inventions, Febr. 1848.) 5 Unzen Schwefelkohlenstoff mit 6 Maaß (1 Maaß dem Volumen nach = 2 Pfd. Wasser) der Vergoldungsflüssigkeit und hiervon täglich 2 Unzen auf 10 Maaß Cyanmetallösung zugesetzt. Es wurde dieses, wenigstens für Silber, von Elkington bestätigt (Dingler's Journal, 114. Bd., aus Practical Mechanics Journal, Octob. 1849.) ꝛc. Besondere Schwierigkeiten hat das Verplatinen gemacht, so wie das Vernickeln, und es scheint nicht, als hätte man bis jetzt darin solche Fortschritte gemacht, daß die Praxis daraus Nutzen ziehen könne. Nach Fehling (Dingler's Journal, 86. Bd.) und Böttger (ebend. 90. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, Sept. 1843) erhalte man noch die besten Resultate, wenn man den Platinsalmiak mit etwas Ammoniak versetze. Auch für Nickel empfiehlt Böttger dasselbe, doch ist die vorbereitende Reinigung des käuflichen Nickels umständlich.

Bei der galvanischen Verzinkung des Eisens muß man (Pelatt, Dingler's Journal, 95. Bd., aus Technologiste, Febr. 1845) eine saure Lösung von schwefelsaurem Zink mit großer Anode von Zink anwenden, um ein dauerhaftes Resultat zu erzielen.

Die verschiedenen Vorschläge, welche gemacht wurden, um Eisen und Stahl — namentlich letzteren — ohne vorgängige Verkupferung zu vergolden, werden hier übergangen, und es können z. B. jene von Desbordeaux in Dingler's Journal vom Jahre 1845 und 1846 nachgesehen werden; sie hatten bis jetzt wenig oder gar keinen praktischen Erfolg.

Den in dem Gutachten der Akademie niedergelegten Gedanken in Bezug auf die Fällung von Legirungen — obwohl er dort bereits als durch Erfahrung bestätigt angeführt ist — griff später von Ruolz auf. Sein Aufsatz beginnt zwar mit den Worten: »Schon Becquerel's sinnreiche Anwendung der Elektrochemie in der Metallurgie machte es wahrscheinlich, daß es gelingen dürfte, auf galvanischem Wege Metalllegirungen aus Auflösungen niederzuschlagen.« Allein man muß sich an solche seltsame Anfänge bei französischen Aufsätzen eben gewöhnen. Es gelang wirklich von Ruolz, nach den der Akademie vorgelegten Proben Bronce auf Eisen niederzuschlagen, es müsse aber das Verhältniß der Metalle in den Auflösungen ein anderes seyn, als das der verlangten Legirungen. So hatte von Ruolz zu 500 Theilen Wasser so viel Cyankalium gesetzt, bis die Lösung 4° Beaumé zeigte, und

dann bei 40° — 48° R. zuerst 30 Theile Cyankupfer und dann 10 Theile Zinkoxyd zugesetzt und daraus Niederschläge erhalten, welche 10 — 20% Zinn gehalten hätten. Später nahm auch Jakobi (Dingler's Journal 93. Bd., aus Bulletin de St. Petersbourg) diesen Gegenstand auf und bereitete eine Messinglösung, indem er in einer Cyankaliumlösung eine Anode von Kupfer und eine Kathode von Platin anwendete, bis sich letzteres verkupferte, worauf er eine Anode von Zink nahm, bis der Niederschlag die gewünschte Farbe erhielt, worauf er eiserne Gegenstände mit Messing unter Anwendung einer Anode von Messing überziehen konnte. Es ist mir trotz vieler Versuche nie gelungen, auf diese Weise fortan Messing niederzuschlagen, indem sich die Farbe des Niederschlags bald änderte und die Messing-Anode schwarz wurde; auch Jakobi scheint einigen Aeußerungen zu Folge ähnliche Erfahrungen gemacht zu haben. Ganz gut gelang es mir aber, starke und festhaftende Messingüberzüge auf Eisen zu machen, wenn ich statt der Anode von Messing zugleich Kupfer und Zink nahm und jeden Theil so tief eintauchen ließ, bis die Farbe des Niederschlags die gewünschte war; es stimmt dieses mit der oben angeführten Erfahrung von von Ruolz überein.

Daß man durch Kupfer legirtes Gold fällen könne, ist bereits oben erwähnt, doch soll es zweckmäßig seyn, zuerst eine Schicht von reinem Gold zu fällen ehe man der Goldlösung das Cyankupfer zusetze.

Wenn sich die Metalllösungen in Folge des Gebrauchs erschöpfen, muß man den Strom verstärken, oder wieder von einer concentrirten Lösung zusetzen. Allein man wendet jetzt gewöhnlich Anoden von dem zu fällenden Metalle an und kann dadurch die Lösungen stets im erforderlichen Concentrationszustande erhalten, während man sonst Anoden von Platin nahm. Petzhold führt dieses Verfahren bereits in seiner Schrift: »die galvanische Vergoldung, Versilberung und Verkupferung — Dresden und Leipzig 1842, an, und Jakobi machte gelegenheitlich bei seinem Aufsatze über das Vermessingen darauf aufmerksam, daß man gar nicht nöthig habe, auf chemischem Wege Metalllösungen zu machen; man erhalte die Lösung, wenn man in einer Cyankaliumlösung eine Anode des verlangten Metalls und eine Kathode von Platin anwende, so lange, bis sich auf letzterem das Metall fälle. Solche Anoden werden in dünn ausgewalztem Bleche, das an einen Platindraht gelöthet ist, angewendet. Beim Versilbern geht das Anwenden von Silberanoden nur mit starken Strömen, oder überschüssigem Cyankalium, weil sich, nach Nappier (Dingler's Journal, 95. Bd., aus Philosophical Magazine, Nov. 1844), Cyansilber bilde, welches in Wasser und neutralem Cyansilberkalium unlöslich sey. Uebrigens wird, nach Nappier's Untersuchungen, das Cyankalium nicht zersetzt, so lange Silber in der Lösung ist.

Man kann auf diese Weise auch Entgolden rc., wenn man den hiezu be-

stimmten Gegenstand als Anode gebraucht; es ist dieses sehr zweckmäßig, wenn ein Gegenstand durch unrichtige Leitung des Vergoldens eine schwärzliche Farbe annimmt. Uebrigens löst Cyankalium Gold auch ohne galvanischen Strom auf.

Was die anzuwendende Stromstärke betrifft, so hat die Erfahrung gelehrt, daß dieselbe nur sehr gering sein dürfe und zwar so, daß sich an dem zu überziehenden Metalle noch keine, oder doch nur kaum merkliche Gasblasen zeigen. Langsamer bewirkte Ablagerungen sind compacter und haften fester an der Unterlage*). Man hat anfänglich an der Haltbarkeit der galvanischen Ueberzüge gezweifelt und Becquerel (Dingler's Journ. 89. Bd. aus Comptes rendus, Juli 1843) machte sogar den Vorschlag das zu vergoldende Stück zuerst mit salpetersaurem Quecksilber zu amalgamiren, hierauf zu vergolden, dann dem gewöhnlichen Färbeverfahren zu unterwerfen, da die hiebei angewendete Hitze zur Verjagung des Quecksilbers zureiche. Man hatte offenbar anfänglich das schlechte Halten der galvanischen Vergoldungen nicht der mangelnden Dicke der Goldschicht zugeschrieben. Baral (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Comptes rendus, Mai 1847) löste im Feuer und galvanisch vergoldete Gegenstände auf, um das Goldhäutchen untersuchen zu können, und fand, daß das galvanische mehr Continuität habe, glaubt aber dennoch, daß es weniger hafte, weil sich bei der Feuervergoldung ein Doppelamalgam bilde und nach der Abtreibung dann Theile des einen Metalls in das andere hinauf reichten. Allein wenn man das Festhalten plattirter Ueberzüge betrachtet und daß der im Feuer gebildete Ueberzug poröser, also auch abnutzbarer ist, so wird man sich, abgesehen von der Erfahrung, recht wohl über die Haltbarkeit der galvanischen Vergoldung beruhigen können. Die Erfahrung bestätigt übrigens die Haltbarkeit guter Vergoldungen — so stark als Feuervergoldung — vollkommen. Galvanisch versilberte Gegenstände werden mit der Zeit gerne gelb, es lasse sich dieses aber dadurch verhüten, daß man die Gegenstände nach dem Versilbern längere Zeit in warmem Wasser liegen lasse und sauber darin wasche (Dr. Philipp, Dingler's Journal, 92. Bd. aus dem Berliner Gewerb-, Industrie- u. Handelsblatt 1844 Nr. 2.), und gelb gewordene Gegenstände werden wieder weiß, wenn man sie mit einem Teige aus Wasser und Weinsteinkohle bestreiche, in der Wärme trockne und dann mit Wasser und Weinstein erhitze, gut abspüle und trockne (Elsner, Dingler's Journal, 93. Bd.). Mouray dagegen empfiehlt das Bestreichen der Gegenstände mit Borax und Erhitzen derselben bis zum Fließen

*) Ich habe übrigens unter stürmischer Gasentwicklung bis 1 Milligram Gold auf den Quadratcentimeter niedergeschlagen, es nachher mit dem Finger, dann mit Leinwand und zuletzt mit der Kratzbürste behandelt, ohne dabei mehr als etwa $^1/_{12}$ des aufgetragenen Goldes herunter zu bringen. Bei 2 Milligr. pro Quadratcentimeter ging bei gleicher Behandlung bis $^1/_4$ des Goldes los.

des Boraxes (Dingler's Journal, 97. Bd., aus dem Technologiste, Juni 1845).

In Bezug auf die anzuwendenden Elektricitätsquellen kommt nicht nur ihre Beständigkeit, sondern auch der Kostenpunkt, und die Unbequemlichkeit, die z. B. in Werkstätten durch die salpetrichte Säure der Bunsen'schen und Grove'schen Elemente hervorgerufen wird, in Betracht. Gewöhnlich wendet man für kleine Gegenstände einen einfachen Apparat mit einer Thierblase als Scheidewand an und Kochsalz oder Cyankaliumlösung beim Zink und nimmt den zu überziehenden Gegenstand als das andere Glied. Im Allgemeinen ist aber eine besondere Zersetzungszelle vorzuziehen, schon wegen der Anoden von Gold ꝛc., und dann eine gewöhnliche Daniel'sche Kette. Herzog Max von Leuchtenberg, dessen galvanoplastische und Vergoldungswerkstätte an Großartigkeit keiner nachsteht — die Elkington's arbeiten mehr mit Silber —, wendet Elemente aus Eisen- und Cohksplatten an, welche mit Schwefelsäure geladen werden, wo der erzeugte Eisenvitriol die Unkosten ganz decke (Dingler's Journal, 97. Bd., aus Technologiste, August 1845). Es werden diese Batterien nur je Montags geladen, um dann mit einigen Auffrischungen Tag und Nacht gebraucht zu werden, bis Samstags, indem sie Nachts zum Zersetzen der erschöften Goldlösungen verwendet werden, da nicht mit Goldanoden gearbeitet wird, weil diese ein todtes Kapital bilden und die Arbeiter in Versuchung führen. Die Goldlösungen werden in der Anstalt so bereitet, daß 1 Theil Gold in Königswasser gelöst und trocken gedampft, dann 1 Theil kaustisches Kali gelöst und dem Golde zugesetzt, die Mischung erwärmt und dann filtrirt wird. Der Herzog hält solche Goldlösungen als die besten zum Arbeiten, welche auf 1 Decilitre 1 — 0,25 Grammen Gold enthalten. Von der Großartigkeit dieser Anstalt wird man sich eine Vorstellung machen, wenn man erfährt, daß (Dingler's Journal, 105. Bd. aus Bulletin de l'Academie de St. Petersbourg, Nr. 130.) die in drei mit Kautschuck ausgelegten hölzernen Behältern vorräthige Goldlösung zusammen 5500 Litres betrug, mit etwa 80 Pfd. Gold, wovon in der Zeit, in welcher die 204 Paare kupferner Kapitäler und Basen für die Isaakskirche in Gesammtgewicht von 7200 Pud à 16 Kilogr. und circa 1300 □Metre Oberfläche vergoldet wurden, monatlich zu Zeiten bis 60 Pfund ausgeschieden wurden. Es wurden in 3 Jahren 280 Kilogramm Gold verbraucht. An jedem Tage wurden 8 Elemente für gewöhnlich als ein einzelnes Paar, aber bei schon erschöpften Lösungen zu einer zweipaarigen Säule verbunden, angewendet oder man half durch Vergrößerungen der Anode ab. War der Strom zu stark — zeigte sich Gas an der Kathode oder wurde der Gegenstand dunkelfarbig, so half man wohl auch durch Vergrößerung der zu vergoldenden Fläche, d. h. durch Zulegen weiterer Gegenstände. Immer wurden auch hier die Gegenstände, wenn sie ein mattes An-

sehn zeigten, herausgenommen, und mit der Kratzbürste behandelt, was bis dreimal wiederholt wurde, um gehörige Vergoldung zu erlangen.

Die Anwendung von Magnetelektrisirmaschinen scheint im Großen bedeutende Vortheile zu gewähren. Sturgeon wendete sie zwar, wie es scheint, zuerst an; aber Woolrich betrieb das Vergolden &c. damit zuerst fabrikmäßig auf ein Patent, welches ihm die Elkington's abkauften (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Bulletin de St. Petersbourg, Nr. 130.), und durch ihn eine Maschine bauen ließen für ihre Fabrik neusilberner Gegenstände, welche bloß zum Versilbern täglich 7 russische Pfund Silber verbraucht. Die Magnetelektrisirmaschine erhielt 8 Hufeisen aus je 12 Stahllamellen, die drittehalb Zoll breit und zusammen vier Zoll dick sind, vom Pol bis zur Höhe des Bogens beträgt die Länge drittehalb Fuß und die Schenkel haben im Lichte 6 Zoll Abstand. Die Eisenkerne der Anker sind 6 Zoll lang und drittehalb Zoll dick und stehen radial auf einem Rade von drittehalb Fuß Durchmesser, gegen welches ebenfalls radial die Magnete gerichtet sind. Das Rad soll 700 Umdrehungen in der Minute machen und der Strom 16 — 20 Unzen Silber in der Stunde ablagern.

Bei den großartigen Arbeiten des Herzogs von Leuchtenberg wurde die Quantität des abgesetzten Goldes auf chemischem Wege bestimmt, indem man aus den geeichten Vergoldungsgefäßen vor und nach dem Vergolden einen Decilitre heraus nahm und diesen untersuchte, wozu eigene sehr zweckmäßige Methoden erfunden und bekannt gemacht wurden (Dingler's Journal, 99. Bd., aus Bulletin scient. figur. de St. Petersbourg). Daß bei einer solchen Methode nur Platinanoden gebraucht werden können, ist für sich klar. Kleine Gegenstände werden vor und nach dem Vergolden gewogen. Beides ist für den gewöhnlichen Vergolder übrigens unpraktisch, und es bleibt ihm nichts anders übrig, als aus dem beginnenden Mattwerden polirter Stellen die Stärke der Vergoldung zu erkennen. Würde eine einfache Bussole eingeschaltet, so sollte sich diese doch wohl durch einige Versuche auf den Goldniederschlag für die Minute näherungsweise eichen lassen, auch wenn es keine Tangentenbussole wäre. Jedenfalls würde eine solche dem Arbeiter stets den Zustand des Stromes sicher anzeigen, während er jetzt es nicht bemerkt, wenn derselbe schwächer zu werden beginnt, und nur an der Gasentwicklung und dem Braunwerden, wenn er zu stark ist.

Frankenstein führte eine neue Methode, galvanisch zu vergolden, ein, die darin besteht, daß das zu vergoldende Stück mit Zink in Berührung gebracht wird — größere Stücke an mehrern Stellen und mit diesem eingetaucht wird. Das Zink wird ebenfalls vergoldet oder versilbert und die Menge des Niederschlags soll, nach Fehling (Dingler's Journal, 78. Bd.), ziemlich der Zeit proportional seyn. Es wird in bis 60° erhöhter Temperatur gearbeitet und der Gegenstand muß alle 10 — 20 Minuten herausge-

nommen und gereinigt werden. Als Goldlösungen empfahl Frankenstein 6 Theile Blutlaugensalz, 4 kohlensaures Kali, 10 Wasser, 1 Chlorgold, und für Silber: 5 Blutlaugensalz, 5 kohlensaures Kali, 2 Kochsalz, 5 flüssiges Ammoniak, 1 Chlorsilber. Die Lösung wird ½—¾ Stunden gekocht und dann decantirt. Diese Methode ist vielfältig in die Werkstätten übergegangen und es wird dabei die gewöhnliche Cyangoldkaliumlösung angewendet, unter Zusatz von etwas Aetzkali oder Natron, und kleinere Gegenstände, Löffel u. dgl., nur allseitig mit weichen Messingdraht locker umwickelt. Frankenstein hat auf diese Weise (Dingler's Journal, 90. Band, aus Inneröstreichischem Gewerbeblatt.) ein Kirchthurm-Kreuz nebst Knopf stückweise vergoldet, von zusammen 50 □Fuß Oberfläche je mit 3 — 4 Eintauchungen von 5 — 10 Minuten und dazu 25 Ducaten niedergeschlagen. Die Goldhaut war nach solcher Behandlung matt, was auch bei ½ Ducaten pr. Quadratfuß immer eintritt. Eine solche Vergoldung kommt nach den früher angeführten Untersuchungen von Dumas einer bessern Feuervergoldung gleich *). Becquerel hat (Dingler's Journal, 92. Bd., Comptes rendus, März. 1844, Nr. 2.) zahlreiche Versuche über die Fällung der Metalle und ihrer Lösungen durch andere Metalle gemacht, selbst auf Zink, die er zum Theile wenigstens den durch Unreinigkeiten im käuflichen Zink hervorgerufenen galvanischen Strömen zuschreibt. Adhärirende Metallniederschläge erhält er jedoch vorzugsweise nur unter Berührung mit Zink, und wenn das zu fällende Metallsalz mit einem Alkalisalze zu einem möglichst neutralen Doppelsalze verbunden war. In saurer Flüssigkeit erhält man auch bei Anwendung besonderer Zersetzungszellen keine anhaftende Niederschläge. Schließlich sey hier noch der Bestrebungen erwähnt, Seidenfäden oder Seidengewebe galvanisch zu vergolden, worauf — freilich ohne Beeinträchtigung ihrer Biegsamkeit und ihrer Stärke — der preußische Gewerbverein einen Preis setzte, der aber bis jetzt, meines Wissens, noch nicht gewonnen wurde.

183 **Aetzen durch Galvanismus.** Spencer scheint diesen Gedanken zuerst verfolgt zu haben, er nahm darauf im August 1840 ein Patent. Das Aetzen nahm er in einer besondern Zelle vor, wo die zu ätzende Platte von der entgegenstehenden Kupferplatte durch eine poröse Scheidewand getrennt war und als Anode diente. Bei der als Kathode dienenden Kupferplatte wurde stets Kupfervitriol, bei der zu ätzenden Platte aber eine nach dem Metalle verschiedene Flüssigkeit angewendet (Dingler's Journal

---

*) Bei der Umwicklung mit Messingdraht, an dessem Ende etwas Zink ist, fällt die Vergoldung röthlich aus, wohl in Folge der Auflösung des Kupfers aus dem Messing. Eisen habe ich so ohne vorherige Verkupferung vergoldet.

80. Bd.). Man wendete für Kupfer verdünnte Schwefelsäure an; allein es scheint nicht, daß dieses Verfahren wirklich in die Praxis überging, da, nach Hasse (Dingler's Journal 84. Bd., aus Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen 1841, 5), die Aetzung gegen den Rand hin immer stärker ist als in der Mitte, und derselbe Uebelstand um solche Stellen herum sich wiederholt, die man gedeckt hat, weil sie tief genug geätzt waren. Grove (Dingler's Journal 82. Bd., aus Philosophical Magazine Sept. 1841) ätzte Daguerreotypplatten auf folgende Weise: Er nahm eines seiner Elemente, dessen Platten so groß waren als die zu ätzende Platte, brachte diese in einen hölzernen Rahmen in 0,2 Zoll Abstand, einer Smee'schen verplatinten Platinplatte gegenüber, und tauchte dieses in verdünnte Salzsäure während 25—30 Secunden, nachdem vorher die Verbindung mit dem Elemente hergestellt war. Die Daguerreotypplatte wurde vorher am Rande und hinten mit Schellack gefirnißt und nach dem Aetzen in Ammoniaklösung mit Baumwolle sachte gewaschen, in reinem Wasser gespült und getrocknet. Die feinsten Linien waren zwar verschwunden, allein die Platte gab doch gute Abdrücke. Grove hält sie jetzt besonders geeignet zu galvanoplastischen Abzügen, um dann mit diesen zu drucken.

Um die gleiche Zeit haben sich auch Steinheil in München und Fizeau in Paris mit dem Aetzen von Daguerreschen Platten beschäftigt. Die Platten von Fizeau hielten 30—40 Abdrücke aus.

Nobili's Ringe. Die Versuche Nobili's sind älter als die 184
Periode, auf welche ich mich beschränke, und gehen zum Theil bis zum Jahre 1826 zurück. Er verfolgte die Sache mit vielen Flüssigkeiten und auf Platten von sehr verschiedenem Metalle bald am positiven, bald am negativen Pole. — Eine tabellarische Zusammenstellung der Versuche von Nobili findet sich in Poggd. Annal. Bd. X u. daraus in Dingler's Journ. 94. Bd.

Nobili hatte die schönsten Farben aus essigsaurem Blei erhalten, wenn er die Metallplatte am positiven Pole anbrachte und den negativen Pol in die Flüssigkeit tauchen ließ. Er soll auch monochromatische Ueberzüge zu Stande gebracht, aber dieses Niemanden mitgetheilt haben. Böttger gelang es, solche Ueberzüge auf Platin zu erhalten aus verschiedenen Manganoxydulsalzen (hippursaurem, essigsaurem, bernsteinsaurem), wobei die am positiven Pole angebrachte Platinplatte in die Lösung gelegt und die negative, ebenfalls kreisförmige Platte ihr gegenüber gehalten wurde. Daß auch der negative Pol in eine Platte endige, sei aber nicht nöthig; man erhalte mit den genannten Salzen nur einfarbige, nach und nach die Farbe wechselnde Töne, wenn auch nur ein Platindraht angewendet werde, und könne den Versuch bei einer beliebigen Farbe unterbrechen. Nur

Manganchlorür gab farbige Ringe, wie essigsaures Blei. Böttger hatte in seinen Lösungen 1 Theil Salz auf 12—16 Theile Wasser und eine vierelementige Säule. Böttger gab auch zur bequemern Ausführung an, man solle einen kurzen Platindraht in die Mitte einer runden Platinplatte löthen und eine Glasschale in der Mitte durchbohren und diesen Draht durch Kork durch die Oeffnung führen, so daß er kurz über den äußern Boden der Schale hervorrage und die Platinplatte in der Mitte des inneren Bodens liege. Die Glasschale soll sodann auf ein Brett mit eingebohrtem Quecksilbernapf gestellt werden, in welchen der Draht der Schale und durch das Brett ein anderer Draht reiche, um so den positiven Strom einzuleiten.

Elsner (Gewerbeblatt für Sachsen 1842 Nr. 29; Dingler's Journ. 85. Bd.) wendete Fechner's einfaches Verfahren, Nobilische Ringe zu erzeugen, auf Stahlplatten an; er begoß sie mit saurem essigsauren Kupfer (Grünspanlösung in Essig), berührte sie an verschiedenen Stellen mit einem Zinkstäbchen, trocknete sie ab und erwärmte sie über einer Weingeistlampe, wobei sich verschiedene Farben nach und nach entwickeln, und man bei einer beliebigen Farbe innehalten kann. Den dem Aufsatze beigefügten theoretischen Betrachtungen scheinen nicht gerade klare Gedanken zu Grunde zu liegen, und sie können daher um so eher umgangen werden.

Becquerel wiederholte (Comptes rendus, Fevrier 1844 N. 6.; Dingler's Journ. 91. Bd.) die Versuche von Nobili auf mannigfaltige Weise und fand namentlich prachtvolle Farbenniederschläge auf verschiedene Metalle, wobei er diese als positive Pole in eine Lösung von Bleiglätte in Aetzkali brachte und als negativen Pol einen Platindraht oder eine kleine Platinplatte anwandte. Es scheidet sich am Platin Blei und am positiven Pole Bleihyperoxyd ab, welches die prächtigen Farbenreihen giebt. Becquerel kochte die fein gepulverte Bleiglätte längere Zeit in einer Aetzkalilösung von 20—22 Grad Baumé und nahm sechs Daniell'sche Elemente zur Säule verbunden. Die Farben entwickeln sich jedoch bei schwächeren Lösungen und weniger Elementen sehr schnell, wenn man kleine Platinbleche anwendet; nur bei ganz feinen in Glas bis an die Spitze eingeschmolzenen Platindrähten sind mehr Elemente nöthig; man erhält aber dabei auch die Ringe schöner rund.

Becquerel will durch Anwendung vieler Drähte, die wie Strahlen aus der Glasröhre aus einander und gegen die positive Metallplatte laufen, gleichförmige Töne erhalten haben. Diese Farben halten sehr fest gegen feinere Putzmittel, wie Englischroth, verändern sich aber, wenn sie sauren oder ammoniakalischen Dämpfen ausgesetzt sind. Becquerel empfiehlt dagegen folgenden Firniß, von dem man warm nach einander zwei Schichten auftragen soll: ½ Litre Leinöl, 4—8 Gramm fein gepulverte Bleiglätte und 2 Gramm Zinkvitriol werden mehrere Stunden

lang mäßig erhitzt und dann filtrirt. Allein nach Becquerel's eigener Angabe verändern sich dabei einzelne Farben. Das Gleiche ist der Fall bei Schellackfirniß. Becquerel hat Versuche mit Gold, Kupfer, Silber (gab keine schönen Farben), Platin, Argentan, Stahl angestellt; auch auf Glockenmetall gehen dieselben sehr gut, Zinn bedarf jedoch vorher einer, wenn auch noch so dünnen Vergoldung.

Der jüngere Becquerel hat (Ann. de Chim. et de Phys., März 1845, Dingler's Journal 96. Bd.) darauf aufmerksam gemacht, daß die Farbenordnungen, die man so erhalte, jenen des durchgelassenen Lichtes entsprechen, und auch behauptet, die Dicke der Schichten vom Mittelpunkte der Ringe aus nehme im umgekehrten Verhältnisse der Halbmesser ab. Zur Nedden (Dingler's Journal 94. Bd.) suchte nun die Ansicht zu bestreiten, als rührten diese Farben überhaupt von den »dünen Blättchen« her, und will sie von den Farben der niedergeschlagenen Verbindungen und der Metalle ableiten. Allein, wenn man auch den Einfluß dieser beiden Ursachen auf den Ton der einzelnen Farben nicht bestreiten will, so sind die Farbenordnungen, wie man sie z. B. auf Argentan erhält, verglichen mit jenen eines keilförmigen Gypsblättchen, doch ganz unzweifelhaft jene, die man bei gekreuzten Spiegeln des Polarisationsapparates erhält.

Gegen die oben angeführte Behauptung Edmund Becquerel's, daß die Dicke der Schichten umgekehrt wie die Halbmesser der Ringe sich verhalte, welche Becquerell auf theoretische Betrachtungen gegründet und an zwei ausgesuchten Platten durch Messungen bestätigt gefunden, traten Du Bois-Reymond und Benz auf (Poggd. Annal. 71. Bd.); Ersterer leitete aus einer genauern theoretischen Untersuchung das Gesetz ab, daß die Dicke der durch die elektrischen Ströme in verschiedenen Entfernungen von der negativen Spitze niedergeschlagenen Schichte umgekehrt wie die Kuben der Halbmesser sich verhalten müsse, und Benz wies durch Versuche nach, daß dieses wirklich so sei. Der Widerspruch der beiderseitigen Versuche ist noch nicht gelöst.

Die prachtvollen Farben, die man auf die angegebene Weise erhält, werden bereits in den Gewerben benutzt zum Ueberzuge von Tischglocken, Fidibusbechern und andern kleinen aus Messing gedrückten Waaren. Man bereitet dabei die Bleioxydätzkalilösung aus 1 Aetzkali auf 5—6 Wasser, bringt es nebst fein gemahlener Bleiglätte im Ueberschuß in einem irdenen Gefäß ins Kochen und unterhält dieses etwa ½ Stunde lang unter beständigem Umrühren, worauf die Lösung filtrirt und in einem wohl verschlossenen Gefäße aufbewahrt wird. Beim Gebrauch gießt man die Lösung in ein Gefäß von Blei oder Messing, das den zu überziehenden Gegenstand sehr bequem fassen kann, verbindet diesen mit dem positiven Pole einer dreipaarigen Daniell'schen Kette, senkt ihn in die Bleilauge und verbindet jetzt erst

den negativen Pol mit der Außenseite des Gefäßes. Man muß die Stromstärke mittelst der Ladungsflüssigkeiten durch einige Versuche so reguliren, daß die Bildung der Ringe — wovon übrigens gewöhnlich nur die zwei ersten Systeme schön entwickelt werden — etwas langsam geschieht, damit man sicherer bei einer bestimmten Färbung den Strom unterbrechen kann. Messingene Gegenstände machen hierbei insofern eine Ausnahme, als sie nur nach und nach mit dem scharfem Rande voraus in die Lösung bei schon geschlossener Kette gesenkt werden dürfen, wie schon Becquerel bemerkt hatte. Alle Gegenstände müssen rein geputzt sein, entweder mit Wienerkalk oder mit Englischroth, und dürfen nach dem Putzen nicht mehr mit den bloßen Fingern berührt werden. Firniß wird gewöhnlich nicht angewendet.

185 **Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen auf galvanischem Wege.** Diese Aufgabe hatte sich vorzugsweise Becquerel gestellt; allein so großartig die von ihm anfänglich eröffneten Aussichten waren, um so bedeutend er von verschiedenen Seiten durch Zusendungen unterstützt worden zu sein scheint, so ist doch im Ganzen kein erkleckliches Resultat gewonnen worden. So läßt ein Bericht in den Comptes rendus von 1840 (Dingler's Journal 77. Bd.) die Vortheile des neuen Verfahrens im glänzendsten Lichte erscheinen, allein obwohl von gar mancherlei elektrischen Wirkungen gesprochen wird *), so erfährt man über den in Rede stehenden Gegenstand eigentlich weiter nichts, als daß die Methode nach den Erzen verschieden sei, und daß eine geringe Röstung vorhergehen müsse, wenn das Erz nicht regulinisches Silber oder Silbersulphurid enthalte, denn auf Silbererze beschränkt sich die Sache vorerst, allein es sollte auch der Reihe nach an die andern Metalle kommen. Ueberhaupt hat Becquerel die Art, durch Hereinziehen von zur Sache ganz und gar nicht gehörigen Ausschweifungen das Verständniß seiner Aufsätze außerordentlich zu erschweren und die Geduld des Lesers zu ermüden.

In einer späteren Nachricht der Comptes rendus von 1842 1. Semester Nr. 4 (Dingler's Journal 84. Bd.) kommt Becquerel nach einer

*) Zur Probe: Versuche, welche sich auf die Geschwindigkeit der Elektricität gründen (diese Geschwindigkeit beträgt über 90,000 Meilen in der Secunde, und ist also größer als die des Lichtes), haben gezeigt, daß die mit den Atomen der Körper verbundene Quantität Elektricität ungeheuer groß ist. Die Elemente eines einzigen Grammes Wasser scheinen nach den Versuchen eines berühmten Physikers 80,000 Ladungen einer elektrischen Batterie zu enthalten, die aus acht gleichen Flaschen von 0,2 Meter Höhe und 0,6 Meter Umfang besteht, wozu 30 Umdrehungen einer kräftigen Elektrisirmaschine erforderlich sind. Wenn also nur diese ganze Menge von Elektricität plötzlich frei würde, so wäre sie hinreichend, ein Haus mit dem schrecklichsten Knalle zu zertrümmern u. s. w.

ähnlichen Einleitung an seine Versuche, Gold auszuscheiden. Sein Verfahren ist folgendes: man bereitet eine Lösung des Erzes in Salzsäure und eine andere salzsaure Lösung, welche alle übrigen mit dem Golde vorkommenden Metalle in demselben Verhältnisse enthält, wie sie sich im Erze finden, beide Lösungen von gleicher Dichtigkeit; diese beiden Lösungen dienen als erregende Flüssigkeiten einer einfachen Kette, die Goldlösung in dem innern Gefäße mit einem Thonpfropfen als Boden und einer Platinplatte, die der andern Metalle im äußern Gefäß mit einer Kupferplatte. Die Kette werde so lange geschlossen, bis alles Gold auf das Platin abgelagert sey. Aus der Gewichtszunahme des Platins schloß Becquerel auf die Menge des Goldes. Es möchte jedoch die Gewinnung des Goldes vom Platin bei der Anwendung im Großen wieder mancherlei Schwierigkeiten haben, wenn man auch nicht darauf ausgehen wollte, die Goldlösung jedesmal ganz zu erschöpfen.

Ein ähnlicher Vorschlag wurde schon früher (Dingler's Journal 80. Bd., aus dem Mechanics Magazine N. 911) von einem Hrn. Byer gemacht, dem aber Martin Roberts die Priorität bestritt, jedoch mehr in der Absicht, Erze quantitativ zu probiren, nachdem ihre qualitative Analyse bekannt ist. Das Erz wird nach gehöriger Zubereitung gelöst und die Lösung als die eine Flüssigkeit, verdünnte Salz- oder Schwefelsäure als die andere in einer einfachen Kette verwendet. Als Metalle sollen immer nur zwei in der Spannungsreihe zunächst stehende genommen werden, und zwar als negatives dasjenige Metall, welches ausgefällt werden soll. Hat man z. B. unter Anderm Eisen in der Flüssigkeit, so wird Eisen und Zink genommen, und eine gewogene Portion Erzlösung zur gewogenen Eisenplatte gebracht und die Kette bis zur Erschöpfung an Eisen, welches sich allein auf der Eisenplatte niederschlagen soll, geschlossen. Hat man Kupfer in der Lösung, so nimmt man Kupfer und Eisen, und so könne man successive verschiedene Metalle ausscheiden und aus der Gewichtszunahme des negativen Metalls die Menge bestimmen.

In den Comptes rendus, Mai 1846 (Dingler's Journal 101. Bd.), giebt Becquerel ein Verfahren an, einige in Wasser unlösliche Silbererze zu zersetzen. Er bringt dieselben mit einer Kochsalzlösung in ein mit dem unvermeidlichen Thonpfropfen versehenes Glas, welches in ein zweites Glas mit Kochsalzlösung gestellt wird; in letzterem steht Zink, von welchem ein Silberdraht zu dem Erze reicht. Das Silber wird reducirt, indem das durch Zersetzung des Chlornatriums frei gewordene Natrium das Chlor des Chlorsilbers z. B. aufnimmt und so das Silber in einem mehr oder weniger lockern Zustande zurückläßt. Das Silber war um so compacter, je schwächer der Strom war, d. h. je verdünnter die Kochsalzlösung und je enger die mit Thon zu verstopfende Oeffnung genommen wurde;

es dauerte aber immer eine bis mehrere Wochen, bis ein nur mäßiges Stück Silber reducirt war.

Allein auch hier war Becquerel nicht der Erste, der diese oder doch eine sehr ähnliche Methode bekannt machte, indem der Mechanikus und Goldprobirer Oechsle in Pforzheim schon 1842 im 86. Bande von Dingler's Journal folgende Methode zur Reducirung des Chlorsilbers angab. Chlorsilber wird mit einer gesättigten Kochsalzlösung zu einem dicken Brei angerührt und dieser in eine poröse Zelle gebracht, welche in einem Gefäße mit auf $1/_{20}$ verdünnter Schwefelsäure steht; in letztere kommt Zink, zum Chlorsilber Platin oder Silber, und man läßt die Kette so lange geschlossen, bis beim Umrühren sich in dem grauen Silberschlamm keine milchichten Streifen mehr zeigen, wäscht dann aus und trocknet. Ein ähnliches Verfahren ist dann wieder in Poggendorf's Annalen 1848 Nr. 11 beschrieben.

James Nappier (Dingler's Journal 97. Bd., aus Repertory of Patent-Inventions, Juli 1845) will die Metalle im geschmolzenen Zustande reduciren, indem er die Schwefelmetalle geröstet mit den nöthigen Flußmitteln in einen Graphittiegel bringt, der innen mit Ausnahme des Bodens mit Lehm überstrichen wurde. Wenn alles im Flusse ist, bringt er auf die Masse eine an einen Eisenstab genietete Eisenplatte und außen an den Tiegel einen andern Eisenstab, beide in Verbindung mit den betreffenden Polen einer Batterie.

Um Kupfer metallisch zu gewinnen, nahm William Ritchie 1844 Patent auf ein Verfahren, welches in der Hauptsache mit dem in den Comptes rendus von 1845 von Dechaud und Gautier de Claubry beschriebenen übereinkommt (beide in Dingler's Journal 97. Bd.) und im Wesentlichen darin besteht, aus den Schwefelverbindungen des Kupfers Kupfervitriol zu gewinnen und diesen galvanisch zu zersetzen. Der Apparat hierzu besteht in großen Trögen mit mehrern Abtheilungen hinter einander, deren jede durch Pappe in zwei Theile getheilt ist, in deren einem Kupfervitriol und eine Bleitafel — verbleites Eisenblech —, in der andern Eisenvitriol und eine gußeiserne Platte stehen, die zusammen eine einfache Kette bilden. Die Erfinder glauben auf jeden Quadratmeter Platte in 24 Stunden ein Kilogramm Kupfer zu erhalten und von dem in der Lösung befindlichen Kupfer 50 Proc. in Platten, 25 Proc. in Körnern und den Rest in fein zertheiltem Zustande zu erhalten. Die Flüssigkeiten werden den Apparaten aus großen Behältern stets in der erforderlichen Concentration zugeführt, so wie die geschwächte Kupfervitriollösung und die gesättigte Eisenvitriollösung stets abgeführt. Ueber den eigentlichen Nutzen dieses Verfahrens mangeln bis jetzt noch genauere Angaben.

Sechster Abschnitt.

Magnetismus und Elektromagnetismus.

Tragkraft hufeisenförmiger Magnete. Ueber die Tragkraft hufeisenförmiger Magnete hat Häcker in Nürnberg zahlreiche Versuche angestellt und in Poggendorff's Annalen veröffentlicht (57. Bd. S. 321). 186

In der Regel nimmt die Tragkraft der Magnete in Folge wiederholten Abreißens des Ankers ab; sobald dies der Fall ist, kann natürlich von einer constanten Tragkraft des Magnetes keine Rede sein, denn eine solche ist diejenige, welche ihm bleibt, wenn auch der Anker wiederholt abgerissen wird. Häcker hat nun Magnete dargestellt, welche in der That die Eigenschaft haben, einen gewissen Grad von Magnetismus unverändert beizubehalten, wie oft man auch den Anker abreißen mag.

Ueber die constante Tragkraft solcher Magnete hat er zahlreiche Versuche angestellt, unter denen wir folgende hervorheben, welche sämmtlich mit Hufeisenmagneten angestellt wurden, die nur aus einer einzigen Lamelle bestehen.

Gewicht des Magneten.	Tragkraft.
1 Loth.	1 Pfund.
4 »	3 »
8 »	4,8 »
16 »	7 »
1 Pfund.	12 »
2 »	18 »
4 »	26 »
7 »	42 »
12 »	65 »
20 »	100 »
40 »	150 »

Die Tragkraft sämmtlicher Magnete wird größer sein und fast das Doppelte betragen, wenn der Anker nach dem Magnetisiren nicht absichtlich mehrmals abgerissen worden wäre. In diesem Falle ist jedoch die Kraft nicht constant, sondern nur vorübergehend.

Man sieht aus obiger Tabelle sehr deutlich, daß die Tragkraft des Magneten keineswegs der Masse proportional wächst, sondern daß sie für größere Magnete verhältnißmäßig geringer wird. So trägt ein Magnet von 1 Loth das 32fache, ein Magnet von 40 Pfund nur etwas mehr als das 3fache seines Gewichtes.

Häcker hat nun noch kleinere Magnete gemacht, ein solcher, welcher

1/16	Loth	schwer	war,	trug	7	Loth.
1/32	»	»	»	»	4	»
1/64	»	»	»	»	2,5	»
1/120	»	»	»	»	1,8	»

Das Verhältniß des Tragkraft eines Magneten zu seiner Masse hat Häcker durch die Formel

$$M = a\sqrt[3]{P^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

ausgedrückt, in welcher M die Tragkraft und P das Gewicht des Hufeisenmagneten bezeichnet, a aber ein constanter Factor ist, für welchen man als Mittel aus den besten Versuchen Häcker's den Zahlenwerth 40 setzen muß, wenn P und M in Lothen, hingegen 12,6 wenn sie in Pfunden ausgedrückt sind. Nach dieser Formel berechnen sich folgende zusammen gehörige Werthe von Gewicht und Tragkraft der Häcker'schen Hufeisenmagnete.

Gewicht.	Tragkraft.
4 Loth.	3 Pfund 4 Loth.
8 »	4 » 31 »
16 »	7 » 28 »
1 Pfund.	12 » 17 »
2 »	19 » 28 »
4 »	31 » 19 »
7 »	45 » 28 »
12 »	65 » 22 »
20 »	92 » 12 »
40 »	146 » 18 »
60 »	192 » 5 »
100 »	270 » 3 »
1000 »	1253 » 24 »
1972 »	1972 » — »

Dem durch obige Formel ausgedrückten Gesetze ganz entsprechend ist die Tragkraft eines aus mehreren Lamellen zusammengesetzten Magneten, nicht die Summe der Tragkräfte der einzelnen. Fünf zehnlöthige Lamellen, deren jede eine Tragkraft von 3,7 Pfund hatte, zu einem einzigen Magneten vereinigt, hatten nur eine Tragkraft von 10,5 Pfund, während die Summe der Tragkräfte der einzelnen Lamellen 18,5 beträgt.

Wenn auch die Häcker'schen Magnete durch wiederholtes Abreißen des Ankers nicht an Kraft abnehmen, so wird ihr Magnetismus doch durch mancherlei Einwirkungen geschwächt. Man darf den Magneten nicht erhitzen, nicht fallen lassen, nicht durch Schlagen oder Stoßen erschüttern ꝛc. Das Anlegen des Ankers ist zu empfehlen, überflüssig aber ist es, daß der Magnet stets belastet sei.

Häcker giebt über die Art, wie er seine Magnete verfertigt hat, über das Material, aus denen sie gemacht wurden, über Härtung und Anlassen gar nichts an; jedenfalls sind seine Magneten von ausgezeichneter Qualität, und wenn andere schlechtere Magnete der Art nach auch ähnliche Resultate geben, d. h. wenn auch für sie die Gleichung 1) gilt, so ist doch sicherlich der Werth des Factors a von der Natur der Stahlsorte und von dem Grade der Härtung abhängig. Sehr wünschenswerth wäre es, wenn wenigstens für mehrere Stahlsorten der Werth von a, wie er den verschiedenen Graden des Anlassens entspricht, genau ermittelt würde. Jedenfalls liefert uns die Häcker'sche Untersuchung ein treffliches Material, um die Güte eines Magneten zu beurtheilen.

Logeman und Wetteren in Harlem haben es in der Darstellung kräftiger Stahlmagnete noch weiter gebracht. Vor kurzem schickte mir Herr Logeman einen Hufeisenmagneten, der bei einem Gewicht von nicht ganz 1 Pfund (460 Gramm) eine Tragkraft von 26 Pfund (13 Kilogramm) hat, also mehr als das doppelte von dem, was man nach der Formel berechnet; jedenfalls sind demnach die Magnete der Harlemer Mechaniker die kräftigsten, welche bis jetzt dargestellt wurden.

»Die Art und Weise der Verfertigung«, schreibt mir Herr Logeman, »ist das Resultat der in der letzten Zeit von Herrn Elias angestellten »und absichtlich noch nicht veröffentlichten Versuche«.

Mir scheint die größte Schwierigkeit, welche sich der Herstellung kräftiger Elektromagnete entgegengestellt, die Darstellung eines geeigneten Stahles zu seyn. — Jedenfalls muß der Stahl sehr hart seyn, weil er sonst nur eine geringe Coercitivkraft hat. Früher konnte man so harten Stahl nicht leicht magnetisiren, jetzt aber, wo man an den Elektromagneten die kräftigsten Magnetisirungsmittel hat, bieten sich von dieser Seite her keine Schwierigkeiten mehr.

187 **Versuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetstäbe.** In demselben Aufsatze theilt Häcker auch seine Versuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetstäbe mit. Aus denselben folgt, daß innerhalb gewisser Gränzen die Schwingungsdauer bei gleichem Querschnitt der Quadratwurzel aus der Länge und bei gleicher Länge der Kubikwurzel aus dem Gewichte des Magnetstabes proportional ist. Daraus ergiebt sich dann zwischen der Schwingungsdauer T, dem Gewichte P und der Länge L eines Magnetstabes folgende Beziehung:

$$T = c\sqrt[3]{P} . \sqrt[6]{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

wo c einen constanten Factor bezeichnet, der für die Häcker'schen Magnetstäbe den Werth 2,67 hat, wenn L in pariser Zollen und P in Lothen (bairisch; das bairische Pfund = 560 Gramm), ausgedrückt ist. In der folgenden Tabelle ist die beobachtete Schwingungszeit mehrerer Magnetstäbe mit den nach obiger Formel für $c = 2,67$ berechneten, zusammengestellt.

Länge	Gewicht	Schwingungsdauer	
des Stabes.		beobachtet.	berechnet.
3 Zoll	1,06 Loth	3,26 Sec.	3,26 Sec.
6 »	2,31 »	4,62 »	4,74 »
9 »	3,31 »	5,60 »	5,71 »
9 »	8,5 »	8,23 »	7,83 »
12 »	3,75 »	6,61 »	6,25 »
12 »	11 »	9,23 »	8,95 »

Bei den stärksten Magnetstäben, welche Häcker später noch darstellte, brachte er den Factor c bis auf 2,35 herunter.

Die Form des Querschnittes der Stäbe ist hier ohne Einfluß, so lange man sich nicht gar zu sehr von den gewöhnlichen Dimensionen entfernt, die Formel 2 gilt also eben so wohl für massive Cylinder als für hohle, und somit erklärt sich leicht, warum bei gleichem Durchmesser hohle Cylinder schneller schwingen als massive.

Die Formel 2 giebt uns auch einen Anhaltspunkt, um die Stufe der Magnetisirung verschiedener Magnetstäbe zu vergleichen. Ein Magnetstäbchen z. B., welches ich untersuchte, war 3,8 Zoll lang und wog 1,1 Loth. Daraus ergiebt sich für $c = 2,67$ die Schwingungszeit $T = 4,29$, während jenes Stäbchen zu einer Schwingung 4,74 Secunden brauchte; es war also nicht so stark magnetisirt wie die Häckerschen.

Verhältniß der Tragkraft zur Schwingungszeit. An einer 188
Reihe von Magnetstäben hat Häcker sowohl die Schwingungsdauer, als auch die Tragkraft eines einzelnen Poles bestimmt. Die folgende Tabelle giebt eine Zusammenstellung der Häcker'schen Beobachtungsresultate mit den berechneten Werthen (P. A. LXII. 366).

Länge des Stabes.	Gewicht des Stabes.	Tragkraft eines Poles		Schwingungsdauer	
		beobachtet.	berechnet.	beob.	berechn.
2⅔ Zoll	0,25 Loth	7,5 Loth	7,9 Loth	1,80 Sec.	1,98 Sec.
2 »	0,815 »	17 »	17,4 »	2,39 »	2,79 »
3 »	1,062 »	22 »	21,0 »	2,76 »	3,27 »
4 »	1,594 »	30 »	27,9 »	3,25 »	3,92 »
6 »	2,125 »	30 »	33 »	4,34 »	4,62 »
5 1/12 »	4,062 »	48 »	51 »	4,94 »	5,45 »
7½ »	8,500 »	76 »	83 »	6,80 »	7,49 »
12¾ »	34,500 »	200 »	212 »	11,8 »	13,26 »
17½ »	81,000 »	344 »	374 »	16,55 »	18,52 »

Die Tragkraft eines Poles wurde nach der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ berechnet, indem für a der Werth 20 eingeführt wurde. In der That stimmen die berechneten Werthe so genügend mit den beobachteten überein, daß dadurch die Gleichung 1) auch für diesen Fall gerechtfertigt erscheint, nur müßte man den Factor a etwas kleiner annehmen; als Durchschnittswerth ergiebt sich aus obigen Beobachtungen $a = 19{,}5$.

Aus dem Umstande, daß der in der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ zu setzende Werth von a sich hier, wo es auf die Berechnung der Tragkraft eines Poles ankam, fast halb so groß ist, als der Werth, den wir bei der Berechnung der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagneten einzuführen hatten, könnte man zu der Meinung verleitet werden, als ob die Tragkraft eines Poles die Hälfte sey von der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagneten. Ein Hufeisenmagnet trägt aber, wenn die beiden Pole durch einen eisernen Anker verbunden sind, wie auch leicht begreiflich, weit mehr als das doppelte von dem, was jeder einzelne Pol für sich zu tragen im Stande ist. Wenn also Häcker für die Tragkraft des einen Poles eines Magnetstabes a halb so groß gefunden hat, als früher für die gesammte Tragkraft eines Hufeisenmagneten, so müssen wir wohl annehmen, daß diese Magnetstäbe zu einer weit höheren Stufe magnetisirt waren, als seine Hufeisenmagnete, wofür auch die Bemerkung Häcker's spricht: »daß diese Tragkraft der Stäbe das äußerste war, wozu dieselben nur mit großer Mühe gebracht werden konnten.«

Bei der Berechnung der Schwingungsdauer wurde die Gleichung 2) mit dem Factor $c = 2{,}67$ angewandt, da aber die berechneten Werthe der Schwingungsdauer sämmtlich größer sind, als die beobachteten, so ergiebt sich, daß die zuletzt besprochenen Magnetstäbe schon stärker magnetisirt waren, als diejenigen, mit welchen die auf Seite 476 beschriebenen Versuche angestellt worden waren.

Mit dem letzten Stab der vorigen Tabelle machte Häcker Versuche bei verschiedenen Graden der Magnetisirung. Folgendes sind die zusammengehörigen Werthe von M und T:

M	T	MT^2
344 Loth	16,55 Sec.	93256
264 »	19,10 »	95360
176 »	23,47 »	96976
136 »	26,45 »	95064
	Mittel	95164.

Die dritte Columne enthält das Product von M und T^2. Der Werth für dieses Product ist nahezu stets derselbe, so daß sich aus diesen Versuchen das Resultat ergiebt, daß sich die Tragkraft eines Poles eines Magnetstabes umgekehrt verhält wie das Quadrat seiner Schwingungszeit.

Im Durchschnitt haben wir $MT^2 = 95164$. Setzen wir nun für M und T ihre Werthe, aus Gleichung 1) und 2), so kommt

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^2}\,(\sqrt[3]{P}.\sqrt[6]{L})^2 = 95164$$

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^4}\,\sqrt[3]{L} = 95164$$

da aber für den fraglichen Stab $P = 81$ und $L = 17{,}5$, so ist $\sqrt[3]{P^4} = 352$ und $\sqrt[3]{L} = 2{,}6$. Dividirt man auf beiden Seiten mit $352 . 2{,}6$ so kommt

$$a\,c^2 = 104.$$

Vermöge dieser Relation zwischen den Factoren a und c kann man aus der Schwingungsdauer eines Magnetstabes auf die Tragkraft eines Poles schließen. Für $c = 2{,}67$ ergiebt sich $a = 16{,}97$; die auf Seite 476 besprochenen Magnetstäbe waren also in der That zu einer merklich geringeren Stufe magnetisirt, als diejenigen, welche zu den auf Seite 477 angeführten Versuchen dienten, und somit ist auch gewiß, daß der Werth von a für die Tragkraft des einen Poles eines Häcker'schen Hufeisenmagneten bedeutend kleiner ist, als die Hälfte des Werthes von a, wenn es sich um die gesammte Tragkraft eines solchen Magneten handelt.

Es wäre sehr zu wünschen, daß das Verhältniß zwischen der Tragkraft

eines Pols und der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagneten genauer untersucht würde.

Eine dritte Abhandlung Häcker's befindet sich im LXXIV. Bande von Poggendorff's Annalen; da sie jedoch nur magnetische Specialitäten behandelt, so darf hier wohl von einer näheren Besprechung derselben Umgang genommen werden; nur eine Bemerkung, welche Häcker am Schluß dieser Abhandlung macht, muß ich noch anführen. Er hat nämlich gefunden, daß man auch dem ungehärteten Stahl einen bleibenden constanten Magnetismus ertheilen könne. Ein Magnetstab, von ungehärtetem Stahl verfertigt, $7^3/_4$ Loth schwer und $16^2/_3$ Zoll lang, zeigte während eines Zeitraumes von 13 Monaten constant dieselbe Schwingungsdauer von 11,93 Secunden. Von diesem Mittel weichen die äußersten der 8 zu verschiedenen Zeiten gemachten Bestimmungen nur um 0,05 Secunden ab. Ein aus gehärtetem Stahl verfertigter Magnetstab von gleichen Dimensionen würde nach den obigen Formeln (für $c = 2,67$) eine Schwingungsdauer von 8,5 Secunden gehabt haben.

Magnetisirung von Stahlstäben. Die von Elias angegebene 189
Methode (P. A. LXII. 249) mittelst einer galvanischen Drahtspirale Stahllamellen zu magnetisiren, ist bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Band, S. 210) beschrieben worden. Böttger hat eine Abänderung dieser Methode angegeben (P. A. LXVII. 112), welche darin besteht, daß anstatt einer Spirale, deren zwei angewendet werden, so daß die beiden Pole der zu magnetisirenden Hufeisenlamelle gleichzeitig in diese Spiralen eingeschoben werden; außerdem aber wendet er Bandspiralen statt Drahtspiralen an.

Elias bestreitet (P. A. LXVII. 356), daß auf diesem Wege mehr geleistet werde, als nach seiner Methode. Er führt an, daß er an einem von Häcker verfertigten Hufeisenmagnet, welcher 0,657 Kilogramm (37,5 Loth) wog, und welcher, als er ihn von Häcker erhalten hatte, 8,25 trug, die Pole mittelst seiner Spirale umgekehrt habe. Nach dieser Umkehrung und nach 25maligem Abreißen des Ankers trug er 10 Kilogramm. Berechnet man nach der Gl. 1) auf S. 474 die Tragkraft dieses Magneten, so findet man 14 Pfund; Elias hat also dem Magneten mit seiner Spirale allerdings eine noch stärkere Tragkraft ertheilt, als diejenige, welche Häcker als das Maximum bezeichnet.

Wie stark der Strom war, den Elias zu dieser Magnetisirung anwandte, ist nicht angegeben.

Frick hat über die Elias'sche Magnetisirungsmethode kritische Versuche angestellt und sie mit dem Magnetisiren durch einen Elektromagneten verglichen (P. A. LXXVII. 537). — Seine Magnetisirungsspirale war

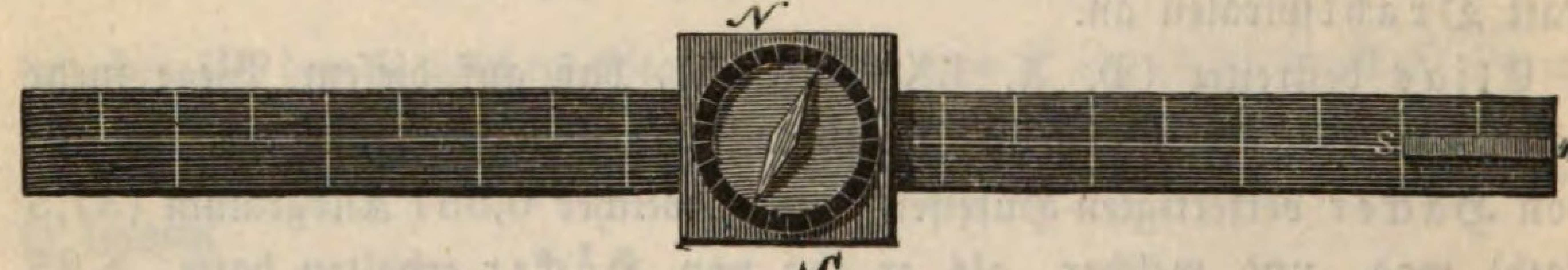
genau nach den Angaben von Elias construirt, nur war die Oeffnung derselben etwas größer. Mit einer vollkommen gleichen Drahtmenge (also 9 Meter Kupferdraht von 3mm Dicke) construirt er nun auch einen Elektromagneten, indem er denselben in gehöriger Weise um den beiden Schenkel eines Hufeisens wickelte, welches aus einem 0,62 Meter langen und 27mm dicken Stab von weichem Eisen gefertigt war.

Um mit diesem Elektromagneten einen Stahlstab zu magnetisiren, wurde die eine Hälfte des Stabes mehrmals über den einen, die andere Hälfte eben so oft über den anderen Pol von der Mitte gegen das Ende hin gezogen.

In allen Fällen wurde mittelst der Tangentenbussole die Stromstärke bestimmt, welche die Drahtwindungen durchlief; bei schwächeren Strömen war die Elias'sche Spirale oder die Windungen der Elektromagneten gleichzeitig mit der Tangentenbussole eingeschaltet, die natürlich in gehöriger Entfernung von der Stelle aufgestellt war, an welcher die Magnetisirung vorgenommen wurde; wegen der durch diesen Umstand erforderlichen langen Verbindungsdrähte konnte man bei gleichzeitiger Einschaltung der Spiralen und der Tangentenbussole keine sehr starke Ströme erhalten, deshalb wurde, wo solche angewendet werden sollten, einmal die Spirale allein und dann die Tangentenbussole mit so viel Draht eingeschaltet, daß der Widerstand im Schließungsbogen derselbe war, wie bei der Einschaltung der Spirale.

Die Stärke des dem Stahlstab ertheilten Magnetismus wurde dadurch bestimmt, daß der Magnetstab in der Fig. 159 angedeuteten Weise östlich

Fig. 159.



oder westlich von einer Bussole gelegt wurde, und zwar so, daß der der Bussole zugewendete Pol 0,6 Meter weit von der Mitte der Nadel war.

Betrachten wir zunächst die Resultate, welche mit zwei Stahlstäben erhalten wurden, welche nahe gleich lang (ungefähr 3 Decimeter) waren und gleichen Querschnitt hatten. Der eine *A* war glashart, der andere *B* bis zum verschwindenden blau angelassen. — Die Stromstärke ist im Folgenden nach der auf S. 248 bezeichneten Einheit ausgedrückt. Die Versuche wurden so angestellt, daß man jedesmal dieselbe Stromstärke durch die Elias'sche Spirale gehen ließ und die damit hervorgebrachte Magnetisirung des Stahlstabs ermittelte, und dann ausfindig machte, wie stark

der Magnetismus ist, den man dem Stahlstab mit Hülfe des Elektromagneten ertheilen kann, wenn ein gleich starker Strom seine Windungen durchläuft.

Die Stärke des Stabmagnetismus ist ausgedrückt durch die Anzahl der Grade, um welche er die Bussolennadel ablenkt.

Stromstärke 98. Stab A.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 13°
Zur Untersuchung in der Spirale hin- und hergeführt, konnte keine Umkehrung erreicht werden, die Stärke des Magnetismus wurde nur heruntergebracht auf	+ 1,5
Die Spirale zur Wiederherstellung des ursprünglichen Magnetismus angewandt, brachte ihn wieder auf	+ 9°
Der Elektromagnet kehrt ihn um bis auf	— 11°

Stromstärke 98. Stab B.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 15°
Durch die Spirale umgekehrt	— 1
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 17,5

Stromstärke 160. Stab A.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 10,5°
Durch die Spirale umgekehrt	— 5,5
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 13

Stromstärke 160. Stab B.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 11,5°
Durch die Spirale umgekehrt	— 13,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	+ 15

Stromstärke 340. Stab A.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 19°
Durch die Spirale umgekehrt	— 10
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 15

Stromstärke 340. Stab B.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale	— 18
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Stromstärke 430. Stab A.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 19°
Umkehrung durch die Spirale	— 19
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 19

Stromstärke 430. Stab B.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale	— 20
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Bei diesem letzten Versuche war der Strom so stark, daß die dicken Kupferdrähte so heiß wurden, daß zum Theil der Schellack in dem Seidenüberzuge schmolz, auch fühlte man beim Durchführen der Stäbe durch die Spirale einen ziemlich starken Widerstand.

Mit einigen anderen glasharten Stahlstäben wurden ähnliche Resultate erhalten.

Bei dem Magnetisiren der Stahlstäbe mittelst der Spirale war das Verankern durch angelegte Stücke weichen Eisens keineswegs versäumt worden.

Aus diesen Versuchen geht nun hervor,

1) daß man, wo nicht sehr starke Ströme angewendet werden, bei gleicher Stromstärke durch den Elektromagneten mehr erreicht, als durch die Spirale, und daß dieser Unterschied bei harten Stäben größer ist, als bei angelassenen.

2) Daß es bei geringeren Stromstärken nicht möglich ist, den vorhandenen Magnetismus harter Stäbe durch die Spirale umzukehren, und daß selbst bei stärkeren Strömen oder angelassenen Stäben, wo die Umkehrung mittelst der Spirale möglich ist, die umgekehrten Pole sehr schwach bleiben, und selbst beim Wiederumkehren nicht mehr die vorige Stärke erreichen, während das Streichen mit dem Elektromagneten viel leichter den Pol umzukehren vermag.

3) Daß aber der Unterschied zwischen beiden Verfahrungsarten mit der Zunahme der Stromstärke allmälig verschwindet, die Sättigung durch den Elektromagneten aber schon bei geringerer Stromstärke erreichbarer ist, als durch die Spirale.

Es dürfte demnach vortheilhafter sein, die gleiche Stromstärke und gleiche Drahtmenge auf einen Elektromagneten zu verwenden, als auf eine Spirale, namentlich, wenn man harten Stahl magnetisiren will.

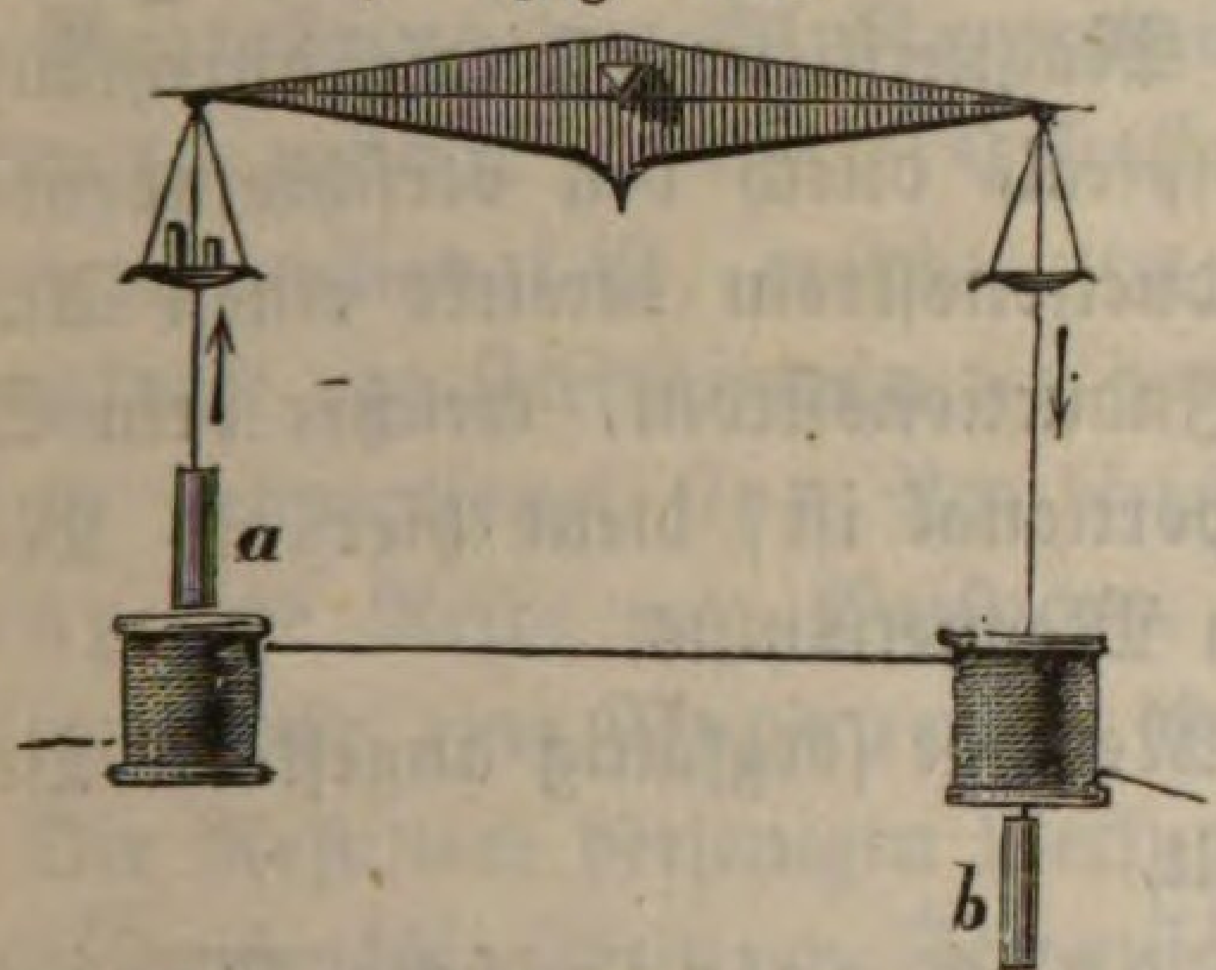
190 **Untersuchungen über die Gesetze der Elektromagnete von Lenz und Jakobi.** Die genannten Petersburger Physiker stellten ihre Versuche über die Gesetze der Elektromagnete zu einer Zeit an, in welcher die zu solchen Untersuchungen erforderlichen Hülfsmitteln noch sehr man=

gelhaft waren (die erste hierher gehörige Abhandlung, aus dem Bull. scient. der Petersburger Akademie Thl. IV. entnommen, befindet sich im XLVII. Bande von Poggendorff's Annal.), die Versuche wurden im Anfange des Jahres 1838 angestellt, so daß sie in der That große Hindernisse zu überwinden hatten. Vor allem war die Schwierigkeit, einen einigermaßen constanten Strom zu erhalten, störend und durch sie hauptsächlich ist der Gang der Untersuchung, wie wir ihn sogleich werden kennen lernen, bedingt.

Als Elektromotor dienten 24 Zinkplatinelemente, welche nach Art der Wollaston'schen Batterie construirt waren, und auf verschiedene Weise mit einander combinirt werden konnten.

Die Stromstärke wurde durch eine Becquerel'sche Wage gemessen, deren Einrichtung etwas modificirt worden war. Da dieses Instrument jetzt wohl schwerlich noch zur Messung der Stromstärke angewendet werden wird, so will ich seine Einrichtung nur so weit andeuten, als zum Verständniß der Lenz'schen Untersuchung nothwendig ist; Fig. 160 ist eine schematische Darstellung des Apparates. An den beiden Schalen einer guten Wage hängen von dünnen Drähten getragen die beiden Magnetstäbe *a* und *b*, welche ganz gleich sind, und beide den Nordpol nach Unten gerichtet haben. Zwei ganz gleiche, mit einander verbundene Drahtspiralen sind so angebracht, daß sich die eine unter *a*, die andere über *b* befindet, und zwar so, daß die Höhlung der Spirale in der Verlängerung des Magnetstabes liegt; man läßt nun den Strom in solcher Richtung durch die Spirale gehen, daß so wohl *a* als *b* abgestoßen werden, daß also der Wagebalken links gehoben und rechts gesenkt wird, wie es die Pfeile andeuten; durch Auflegen von Gewichten, welche dieser Abstoßung das Gleichgewicht halten, kann dann der Wagebalken in seiner horizontalen Stellung erhalten werden.

Fig. 160.



Um einen Strom von bestimmter Stärke zu erhalten, verfuhren Lenz und Jakobi nun so, daß ein bestimmtes Gewicht, z. B. 400 Gramm auf die Wagschale gelegt, und dann die Plattenpaare tiefer und tiefer in ihre Tröge eingetaucht wurden, bis die Abstoßung zwischen den Magneten und den Spiralen diesen 400 Grammen das Gleichgewicht hielt. Das aufgelegte Gewicht ist alsdann das Maß für die Stromstärke. Um einen 2mal, 3mal so starken Strom zu erhalten, werden 800, 1200 Grammen aufgelegt u. s. w.

Leider finden sich in der citirten Abhandlung nicht Data genug vor, und die so gemessenen Stromstärken auf unsere Einheit zu reduciren.

Zwanzig Fuß von der Wage entfernt stand die Magnetisirungsspirale, deren Enden mit den Enden der Spiralen der Wage leitend verbunden waren, so daß der Strom hinter einander die Magnetisirungsspirale und die beiden Spiralen der Wage durchlaufen mußte.

Der zu magnetisirende Eisencylinder war von zwei Drahtspiralen umgeben, von denen eine in der andern steckte; man konnte nach Belieben die innere oder die äußere als Magnetisirungsspirale anwenden, während die andere, die wir die Inductionsspirale nennen wollen, in folgender Weise diente, um die Stärke des im Eisen erzeugten Magnetismus zu messen. 15 Fuß von dieser Spirale war nämlich ein Multiplicator aufgestellt, dessen Drahtenden mit den Drahtenden der Inductionsspirale in leitende Verbindung gesetzt werden konnten. Sobald der Magnetisirungsstrom eine bestimmte, an der Wage gemessene Stärke erreicht hatte, wurde die Verbindung zwischen Multiplicator und Inductionsspirale hergestellt, und sogleich der Strom, welcher die Magnetisirungsspirale durchläuft, unterbrochen. Der in der Inductionsspirale durch den verschwindenden Magnetismus des Eisens erzeugte Inductionsstrom bewirkt einen Ausschlag der Multiplicatornadel. Dieser Inductionsstrom, welcher dem Sinus des halben Ausschlagswinkels proportional ist, dient hier als Maß für die Stärke des dem Eisen ertheilten Magnetismus.

Durch eine große Reihe nach dieser Methode sorgfältig angestellte Versuche haben Lenz und Jakobi ermittelt,

daß der im weichen Eisen durch galvanische Ströme hervorgerufene Magnetismus der Stromstärke proportional sei.

Wir werden weiter unten sehen, daß dieser Satz nur innerhalb gewisser Gränzen wahr ist.

Die Gesetze, welche Lenz und Jakobi nun zunächst entwickelten, sind folgende:

Wenn um einen Cylinder von weichem Eisen gleich starke Ströme in gleich vielen Windungen herumgeführt werden, so ist der erzeugte Magnetismus gleich stark, mag nun

1) der Draht, aus welchen die Windungen gebildet sind, dick oder dünn sein, und

2) mag die Weite der Windungen groß oder klein sein.

Endlich ergab sich noch:

daß die Totalwirkung sämmtlicher, einen Eisenkern umgebenden Windungen gleich ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen.

Diese Sätze sind a priori schon so einleuchtend, daß ein näheres Eingehen in die Details der entsprechenden Versuche hier wohl überflüssig ist.

In einer späteren Abhandlung von Lenz und Jacobi (P. A. LXI. 254) finden wir für Elektromagnete das weitere Gesetz,

daß bei massiven Eisencylindern von gleicher Länge und mehr als $\frac{1}{3}$ Zoll Durchmesser, bei gleichen Spiralen und gleichen Stromstärken, der Magnetismus dem Durchmesser der Cylinder proportional sey.

Dieses Gesetz ist eben so wenig allgemein gültig, wie das von der Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus. Bei dünneren Stäben hatten Lenz und Jakobi selbst schon die Abweichung bemerkt, daher der beschränkende Beisatz.

Die wahren Beziehungen zwischen der Stromstärke, den Durchmesser, den Cylinder und den in ihnen erzeugten Magnetismus werden wir weiter unten kennen lernen.

Anziehung der Elektromagnete. Vorausgesetzt, daß der Magne- 191
tismus, welcher in einem Eisenstab erzeugt wird, der Stärke des Stromes proportional ist, welcher ihn umkreist, läßt sich erwarten, daß die Tragkraft von Elektromagneten dem Quadrate der magnetisirenden Stromstärke proportional sey. Um diesen Satz zu prüfen, stellte Jakobi und Lenz eine Reihe von Versuchen an, bei denen jedoch zur Messung der Stromstärke eine Nervander'sche Tangentenbussole angewandt wurde.

Die Resultate derjenigen Versuche, welche mit geraden Eisenstäben und verhältnißmäßig geringen Stromstärken angestellt wurden, stimmten ziemlich gut mit dieser Erwartung überein (P. A. XLVII. 401), als aber die Petersburger Physiker zur Untersuchung hufeisenförmiger Elektromagnete übergingen, deren Schenkel mit 228 Windungen eines $\frac{3}{4}$ Linien dicken Kupferdrahtes umwunden waren, und stärkere Ströme angewandt wurden, blieb die Tragkraft weit hinter der erwarteten zurück, wie man aus der folgenden Tabelle sieht, welche die Resultate einer der von Lenz und Jakobi angestellten Versuchsreihen enthält.

α	tang. α	g	g'
6° 28′	0,113	13,2	13,2
11 51	0,210	42,0	44,9
15 50	0,283	65,4	81,8
16 58	0,305	72,6	100,3
17 46	0,320	78,8	105,6
20 43	0,378	92,1	146,0

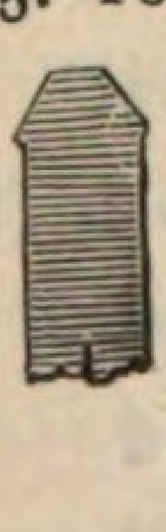
Die erste Columne dieser Tabelle enthält die an der Tagentenbussole abgelesenen Ablenkungswinkel, die zweite Columne enthält die Tangenten dieser Winkel; in der dritten Columne stehen die beobachteten Tragkräfte des hufeisenförmigen Elektromagneten in Pfunden, in der letzten Columne endlich die Tragkraft, wie sie seyn würde, wenn sie dem Quadrat der Stromstärke proportional gewachsen wäre. Man sieht, daß die Zahlen der dritten Columne um so mehr hinter denen der vierten zurückbleiben, je mehr die Stromstärke wächst.

In dem folgenden Paragraphen wird gezeigt werden, daß das von Lenz und Jakobi aufgestellte Gesetz von der Proportionalität der Stromstärke und der Magnetismus nicht allgemein wahr ist und daß für stärkere Ströme und namentlich für dünnere Stäbe, der Magnetismus in einem weit langsamern Verhältniß wächst als die Stromstärke, und so erklärt sich auch leicht, warum bei stärkeren Strömen die Tragkraft hufeisenförmiger Elektromagnete so weit hinter den Erwartungen des Petersburger Physiker zurückblieb.

Es ist sehr zu bedauern, daß in der zuletzt besprochenen Abhandlung keine Angaben zu finden sind, durch welche eine Reduction der Stromstärken auf chemisches Maß möglich geworden wäre, denn dadurch hätten die mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angestellten Versuchsreihen von Lenz und Jakobi über die Tragkraft der Elektromagnete eineu nngleich größeren Werth für die Wissenschaft erhalten. Der Apparat, mit dem sie ihre Messungen über die Tragkraft anstellten, ist in Pogg. Ann. Bd. LIV., S. 335 beschrieben.

Im LII. Bande S. 303 von Poggendorff's Annalen veröffentlicht Pfaff eine Reihe von Versuchen über die Tragkraft von Elektromagneten; da jedoch keine gleichzeitige Messung der Stromstärke angestellt wurde, so lassen sich aus diesen Versuchen keine Gesetze ableiten. — Bei diesen Versuchen fand Pfaff, was man auch schon früher in Beziehung auf Stahlmagnete beobachtet hatte, daß für abgerundete Anker unter sonst gleichen Umständen die Tragkraft weit größer ist als für solche, welche mit einer ebenen Fläche an den Magneten anstoßen. Der Grund davon liegt höchst wahrscheinlich darin, daß sich im letzteren Fall keine so innige Berührung herstellen läßt.

Fig. 161.



Auch der Anker des oben S. 475 erwähnten Logemann'schen Magneten ist nur mit einer schmalen Fläche mit dem Magnete in Berührung. Fig. 161 ist sein Querschnitt. Die obere Berührungsfläche ist nur 3^{mm} breit, während die unteren Flächen des Magneten 9^{mm} breit und 25^{mm} lang sind.

Versuche, welche Pfaff mit massiven und hohlen Elektromagneten anstellte (P. A. LIII. 309), widersprechen der Behauptung

von Jakobi (P. A. LI., 362), daß der Magnetismus eines Eisenstabes unter sonst gleichen Umständen nur seinem Durchmesser, also auch seinem Umfange, nicht seinem Querschnitt proportional sey, woraus er dann auch folgerte, daß hohle Stäbe verhältnißmäßig vortheilhafter seyen als massive. Zehn hohle Cylinder, deren äußerer Durchmesser gleich war, und von denen je zwei eine Wanddicke von $^{17}/_{18}$, $1^1/_7$, 2, $3^3/_8$ und $4^1/_2$ Linien hatten, wurden mit ganz gleichen Magnetisirungsspiralen versehen, und dann immer je zwei gleiche so verbunden, daß sie gewissermaßen ein Hufeisen bildeten, dessen Tragkraft geprüft wurde, es ergab sich unter anderen

für	1 . .	7	Pfund
»	2 . .	17	»
»	3 . .	15	»
»	4 . .	20	»
»	5 . .	44	»

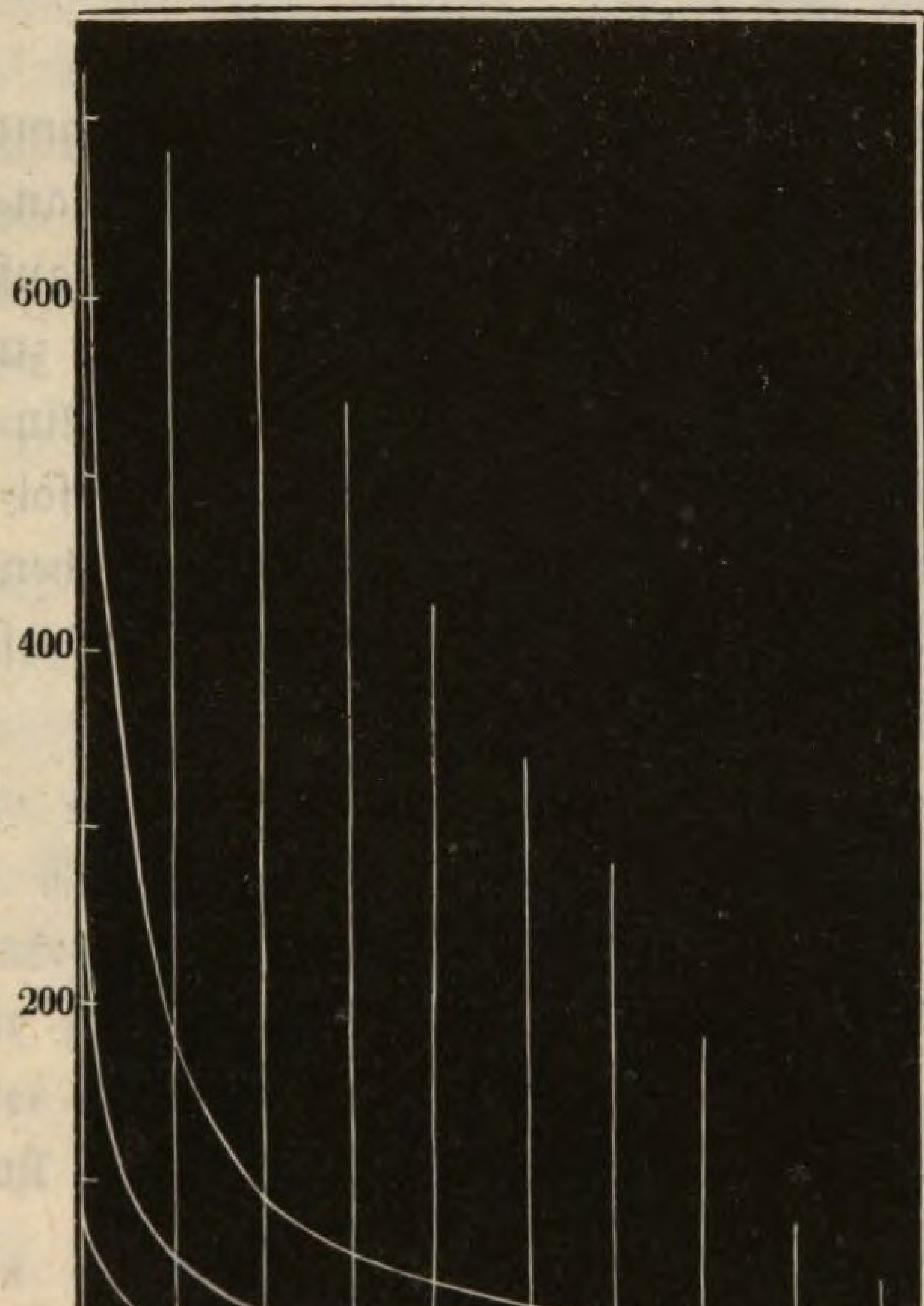
woraus sich ergiebt, daß bei gleichem Durchmesser die Tragkraft doch sehr von der Masse der Elektromagneten abhängt. Nro. 2 war wohl aus einer weicheren Eisensorte verfertigt.

Mit der Entfernung des Ankers von den Polen der Magnete nimmt die Tragkraft sehr rasch ab; Kramer in Kiel hat darüber Versuche angestellt (P. A. LII. 298). Um die anziehende Kraft in einer Reihe auf einander folgender, möglichst gleichförmig wachsender Entfernungen zu prüfen, nahm er als Einheit derselben die Dicke eines Blattes Velin-Postpapiers, wovon 46 eine englische Linie machen. Er schnitt von solchem Papier eine Anzahl Stücke und brachte diese nach und nach zwischen Pole und Anker. Die folgenden Tabellen sind ein Auszug aus den auf diese Weise mit vier verschiedenen Magneten erhaltenen Resultate.

Magnet Nro. I.		Magnet Nro II.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	80 Loth	0	104 Loth
1 Papierdicke	32 »	1 Papierdicke	44 »
2 »	21 »	2 »	24 »
4 »	11 »	4 »	11 »
8 »	$4^1/_4$ »	8 »	$4^1/_2$ »
15 »	$1^1/_8$ »	15 »	2 »

Magnet Nro. III.		Magnet Nro. IV.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	224 Loth	0	680 Loth
1 Papierdicke	148 »	1 Papierdicke	475 »
2 »	108 »	2 »	355 »
4 »	64 »	4 »	215 »
8 »	36 ½ »	8 »	116 »
16 »	17 ¼ »	16 »	55 ½ »
46 »	6 ½ »	46 »	13 ½ »

Fig. 162.



In der Originalabhandlung finden sich auch noch die Tragkräfte, welche für die Entfernungen 3, 5, 6, 7, 9 u. s. w. beobachtet wurden.

In Fig. 162 ist das Resultat für I., III. und IV. graphisch dargestellt, und zwar in den Abscissenlinien 1^{mm} für eine Papierdicke, als Ordinate 1^{mm} für eine Tragkraft von 10 Lothen.

192 **Versuche über den Einfluß des Ankers auf die Tragkraft.** Welch bedeutenden Einfluß Gestalt und Gewicht des Ankers auf die Tragkraft von Magneten hat, ist schon längst bekannt, doch sind darüber wenig vergleichende Versuche angestellt worden. Im Jahr 1847 legte Barral der Pariser Akademie eine Abhandlung über Elektromagnete vor, von welcher die comptes rendus (Bd. 25, S. 757) einen Auszug geben. Er untersuchte den Einfluß, den das Gewicht des Ankers auf die Tragkraft der Elektromagnete hat; mit einem 7,8 Kilo-

gramm schweren Elektromagneten erhielt er bei gleicher Stromstärke folgende Resultate:

Gewicht des Ankers.	Tragkraft.
0,2 Kil. . . .	33 Kil.
0,9 » . . .	66 »
2,8 » . . .	183 »
4,8 » . . .	235 »
6,8 » . . .	267 »
9,2 » . . .	295 »
15,0 » . . .	235 »

Die Tragkraft des Elektromagneten wäre demnach ein Maximum, wenn das Gewicht des Ankers dem des Elektromagneten nahe zu gleich ist.

Dies Gesetz kann aber unmöglich eine allgemeine Geltung haben, da, wie wir sogleich sehen werden, bei gleicher Masse des Ankers die Tragkraft der Elektromagnete noch durch die Gestalt des Ankers bedingt wird. Welche Gestalt und welche Dimensionen die Barral'schen Anker hatten, ist in erwähntem Auszuge nicht angegeben, er würde aber gewiß ganz andere Resultate erhalten haben, wenn er die vergrößerte Masse des Ankers in anderer Form zur Anwendung gebracht hätte.

Ueber die Tragkraft, welche der eine Pol eines geradlinigen Elektromagneten besitzt und wie dieselbe von der Masse und der Gestalt des Ankers abhängt, hat Dub eine umfangreiche Untersuchung angestellt (P. A. LXXIV. 465).

Die Anordnung seiner Versuche war im Wesentlichen folgende: Der mit der Magnetisirungsspirale umgebene cylindrische Eisenstab war vertical gestellt und gehörig befestigt; auf dem oberen Pol wurde der gleichfalls cylindrische Anker aufgesetzt, welcher durch einen genau construirten Hebelapparat abgerissen wurde. Die Pole des Elektromagneten und der Anker waren möglichst eben abgeschliffen. Der Strom, welcher durch die Spirale ging, wurde durch eine Tangentenbussole gemessen.

Zunächst untersuchte Dub 10 Anker von gleichem Gewicht (29¼ Loth) aber verschiedener Länge und also auch verschiedenem Durchmesser. Der Elektromagnet war 12 Zoll lang und hatte 1 Zoll Durchmesser. Die Dimensionen der Anker waren folgende:

Anker.	d	l	Anker.	d	l
Nr. 1	2″	1″	Nr. 6	7/8″	5 1/4″
» 2	1 1/2	1 1/5	» 7	3/4	7 1/9
» 3	1 2/5	2	» 8	11/16	8 1/2
» 4	1 1/5	3	» 9	9/16	12 2/3
» 5	1	4	» 10	1/2	16

unter *d* stehen die Durchmesser, unter *l* die Längen. Mit diesen Ankern machte Dub Versuche bei zwei verschiedenen Stromstärken. Es ergab sich Folgendes:

Anker.	Stromstärke = 25°	Stromstärke = 45°
1	1,8 Pfund	6,24 Pfund
2	1,7 »	5,4 »
3	2,1 »	5,2 »
4	2,7 »	6,57 »
5	3,35 »	8,13 »
6	4,5 »	10,71 »
7	6,2 »	15,5 »
8	7,4 »	19,15 »
9	9,7 »	27,9 »
10	10,3 »	25,58 »

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß bei gleichem Gewicht des Ankers seine Tragkraft sehr wesentlich von seinen Dimensionen abhängt. Im Allgemeinen wächst bei gleichem Gewicht die Tragkraft mit der Länge.

Nun stellte Dub Versuche an mit Ankern von gleichem Durchmesser und verschiedener Länge (also auch verschiedenem Gewicht).

Mit einem Elektromagneten von 1 Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge erhielt er folgende Resultate, als der Durchmesser des Ankers dem des Elektromagneten gleich war.

Länge der Anker	Stromstärke			
	20°	25°	31°	35°
2″	1,2 Pfd.	1,7 Pfd.	2,4 Pfd.	2,9 Pfd.
3	1,7 »	2,4 »	3,6 »	4,5 »
4	2,4 »	3,3 »	4,8 »	6,1 »
5	3,0 »	4,0 »	6 2 »	7,3 »
6	3,3 »	4,6 »	6,8 »	8,9 »
9	4,4 »	6,8 »	11,2 »	13,8 »
15	4,9 »	8,4 »	12,9 »	16,4 »
18	5,2 »	10,2 »	13,6 »	18,8 »
21	6,3 »	12,0 »	16,0 »	22 »
24	5,9 »	9,5 »	13,4 »	17,5 »

Mit demselben Elektromagneten, aber mit Ankern von 5/16 Zoll Durchmesser ergaben sich folgende Resultate.

Länge der Anker	Stromstärke			
	20°	25°	31°	35°
2″	1,7 Pfd.	2,6 Pfd.	3,6 Pfd.	4,4 Pfd.
3	2,9 »	3,7 »	5,4 »	6,2 »
4	3,4 »	4,7 »	7,2 »	7,7 »
5	3,9 »	5,4 »	7,8 »	8,0 »
9	6,0 »	7,3 »	9,4 »	10,1 »
12	6,5 »	8,7 »	9,8 »	10,8 »
18	6,3 »	8,7 »	9,5 »	10,5 »
24	6,3 »	8,0 »	9,4 »	10,5 »

Im Allgemeinen wächst also die Tragkraft mit der Länge der Anker, jedoch nur bis zu einem bestimmten Maximum. Bei den Zoll dicken Ankern erreicht die Tragkraft für die Länge von 21″ das Maximum; mit Vergrößerung der Länge findet wenigstens keine Ver=

mehrung der Tragkraft mehr statt. Bei geringerem Durchmesser des Ankers findet das Maximum der Tragkraft schon bei geringerer Länge statt; für $^5/_{16}$ Zoll Durchmesser bei 12 Zoll Länge; für $^3/_{16}$ Zoll Länge fand es Dub bei 9 Länge. Für stärkere Ströme und dünnere Anker beginnt die Annäherung zu dem Maximum schon früher.

Den Einfluß der Dicke des Ankers können wir zum Theil schon aus den zuletzt angeführten Tabellen erkennen. Wir sehen, daß bei gleicher Stromstärke und gleicher Ankerlänge der dünnere Magnet oft mehr trägt als der dickere; eine in dieser Beziehung besonders angestellte Versuchsreihe, wozu ein Elektromagnet von 12″ Zoll Länge und 1″ Durchmesser gebraucht wurde, gab folgende Resultate.

Ankerlänge 2″.

Stromstärke.	Durchmesser der Anker.								
	1″	$^{11}/_{16}$″	$^9/_{16}$″	$^8/_{16}$″	$^6/_{16}$″	$^5/_{16}$″	$^3/_{16}$″	$^2/_{16}$″	$^1/_{16}$″
20°	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1	0,4
25	1,7	1,8	2,0	2,1	2,4	2,6	2,2	2,1	0,4
31	2,4	2,7	3,0	3,1	3,4	3,6	3,1	2,1	0,4
35	3,0	3,0	3,5	3,8	4,1	4,4	3,3	2,0	0,4
39	3,6	4,1	4,4	4,5	5,5	5,5	3,8	2,9	0,5
42	4,7	5,2	5,8	6,3	7,2	6,9	3,9	2,7	0,5

Ankerlänge 6″.

Stromstärke.	Durchmesser der Anker.								
	1″	$^{12}/_{16}$″	$^{11}/_{16}$″	$^9/_{16}$″	$^8/_{16}$″	$^6/_{16}$″	$^5/_{16}$″	$^3/_{16}$″	$^2/_{16}$″
20°	3,3	3,9	4,2	4,4	4,8	5,1	4,9	2,7	2,2
25	4,8	5,5	6,2	6,4	7,1	7,3	6,1	3,4	2,2
31	6,8	8,1	9,1	9,7	10,4	10,0	8,2	3,8	2,4
35	8,9	10,3	11,2	11,7	12,5	11,9	9,2	4,1	2,7
39	9,9	12,9	13,9	15,2	16,2	14.9	9,8	3,9	2,8
45	13,3	16,2	18,5	21,3	20	17,2	10,1	3,8	2,8

Ankerlänge 12″.

Stromstärke.	Durchmesser der Anker.						
	$^{12}/_{16}$″	$^{10}/_{16}$″	$^{8}/_{16}$″	$^{6}/_{16}$″	$^{5}/_{16}$″	$^{3}/_{16}$″	$^{2}/_{16}$″
20°	4,7	5,8	6,8	7,2	6,5	3,3	2,0
25	8,6	9,3	10,8	10,3	8,5	3,7	2,5
31	12,0	14,8	16,1	13,8	9,8	4,3	2,6
35	18,3	19,2	19,6	15,6	10,8	4,4	2,8
39	19,7	22,8	24,8	17,0	10,8	4,5	2,6
45	28,9	33,4	27,5	18,6	11,7	4,8	2,9

Wir sehen hier das merkwürdige Resultat, daß die Tragkraft mit dem Dünnerwerden des Ankers bis zu einer bestimmten Gränze wächst, das Maximum der Tragkraft rückt aber den dickeren Ankern um so mehr zu, je länger sie sind und je größer die Stromstärke ist. Unter den 2″ langen Ankern z. B. zeigt bei 20° der von $^{5}/_{16}$″ Durchmesser das Maximum der Tragkraft, welches sich für 45° bei $^{6}/_{16}$″ Durchmesser findet. Unter den Ankern, welche 12″ lang sind, zeigt bei 20° der $^{6}/_{16}$ Zoll Dicke, bei 45° der $^{10}/_{16}$ Zoll Dicke die größte Tragkraft.

Eben so zeigen die Versuche Dub's, daß, wenn die Anker dicker sind als die Elektromagnete, die Tragkraft bis zu einer gewissen Gränze zunimmt, wenn der Durchmesser der Elektromagnete verkleinert wird.

In beiden Fällen bewirkt aber die Verkleinerung der Durchmesser nur deshalb eine Vermehrung der Tragkraft, weil sie mit einer Verkleinerung der Berührungsfläche verbunden ist. Es geht dies deutlich aus den Versuchen Dub's hervor, zu welchen er conisch zugespitzte Anker anwandte, um bei größerem Durchmesser eine kleinere Berührungsfläche zu erzielen.

So erhielt er z. B. mit einem Elektromagnet von 1 Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge mit verschiedenen 6 Zoll langen Ankern folgende Resultate:

Anker Nro. I. 1 Zoll Durchmesser, oben conisch verjüngt, so daß die Berührungsfläche $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmesser hatte . . . 7 Pfund
Anker Nro. II. ganz cylindrischer Anker von 1 Zoll Durchmesser . . . . 3,3 »
Anker Nro. III. ganz cylindrisch $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmesser . 4,8 »

Der halbzöllige cylindrische Magnet hat also nur deshalb eine größere Tragkraft, als der einzöllige, weil die Berührungsfläche kleiner ist, wenn

man den einzölligen oben so verjüngt, daß die obere Fläche ebenfalls ein $1/_2$ Zoll Durchmesser hat, so trägt er jetzt bedeutend mehr als der halbzöllige. Bei gleich großer Berührungsfläche zieht der Anker am meisten, welcher die größte Masse hat.

Wie es kommt, daß der kleineren Berührungsfläche die größere Tragkraft zukommt, ist noch nicht gehörig ermittelt. Jedenfalls kann man bei größeren Berührungsflächen keine so innige Berührung, kein so genaues Anschließen hervorbringen, während außerdem noch bei dickeren Ankern weit eher ein Abbrechen des Ankers stattfinden kann als bei kleineren.

Leider hat Dub nach dieser Seite seine Versuche nicht ausgedehnt, er hat nicht untersucht, wie es sich verhält, wenn man die Berührungsfläche bis zur Kante oder bis zum Punkt verkleinert.

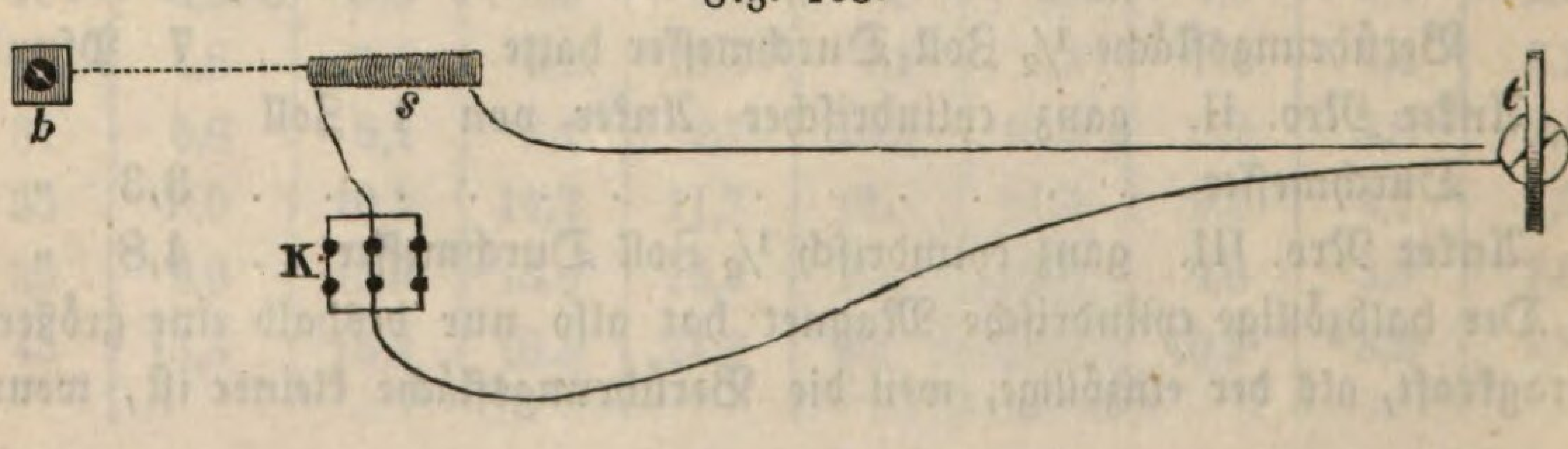
Jedenfalls ist die Tragkraft eine Function der Länge des Ankers, seines Durchmessers und der Größe der Berührungsfläche. Die Natur dieser Function, also wie die Tragkraft von diesen drei Elementen abhängt, ist bis jetzt noch nicht genügend ermittelt.

193 **Neuere Versuche über die Gesetze des Elektromagnetismus.** Wenn der Magnetismus eines Eisenstabes der Stärke des um ihn herumgeführten Stromes stets proportional wäre, so müßte er selbst im dünnsten Stab ins Unendliche wachsen können, was aus mannigfachen Gründen höchst unwahrscheinlich ist. In Stahlstäben kann der Magnetismus nicht über eine gewisse Gränze hinaus gebracht werden; sollte es nicht auch für Eisenstäbe eine Gränze geben, der sich der Stabmagnetismus bei wachsender Stromstärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch dieselbe je zu erreichen? Schon lange ging ich mit dem Plan um, diesen Gegenstand auf experimentellem Wege weiter zu verfolgen, aber erst im vorigen Herbst kam ich zur Ausführung.

In den Uebungsstunden unseres mathematisch-naturwissenschaftlichen Seminars unternahm es nämlich Hr. C. Gartenhauser nach meiner Anleitung eine hierher gehörige Reihe von Versuchen auszuführen, deren Resultate meine Erwartungen vollkommen bestätigte.

Die Anordnung der Versuche übersieht man aus Fig. 163. Der Strom wurde durch sechs Bunsen'sche Becher erzeugt, von denen je drei

Fig. 163.



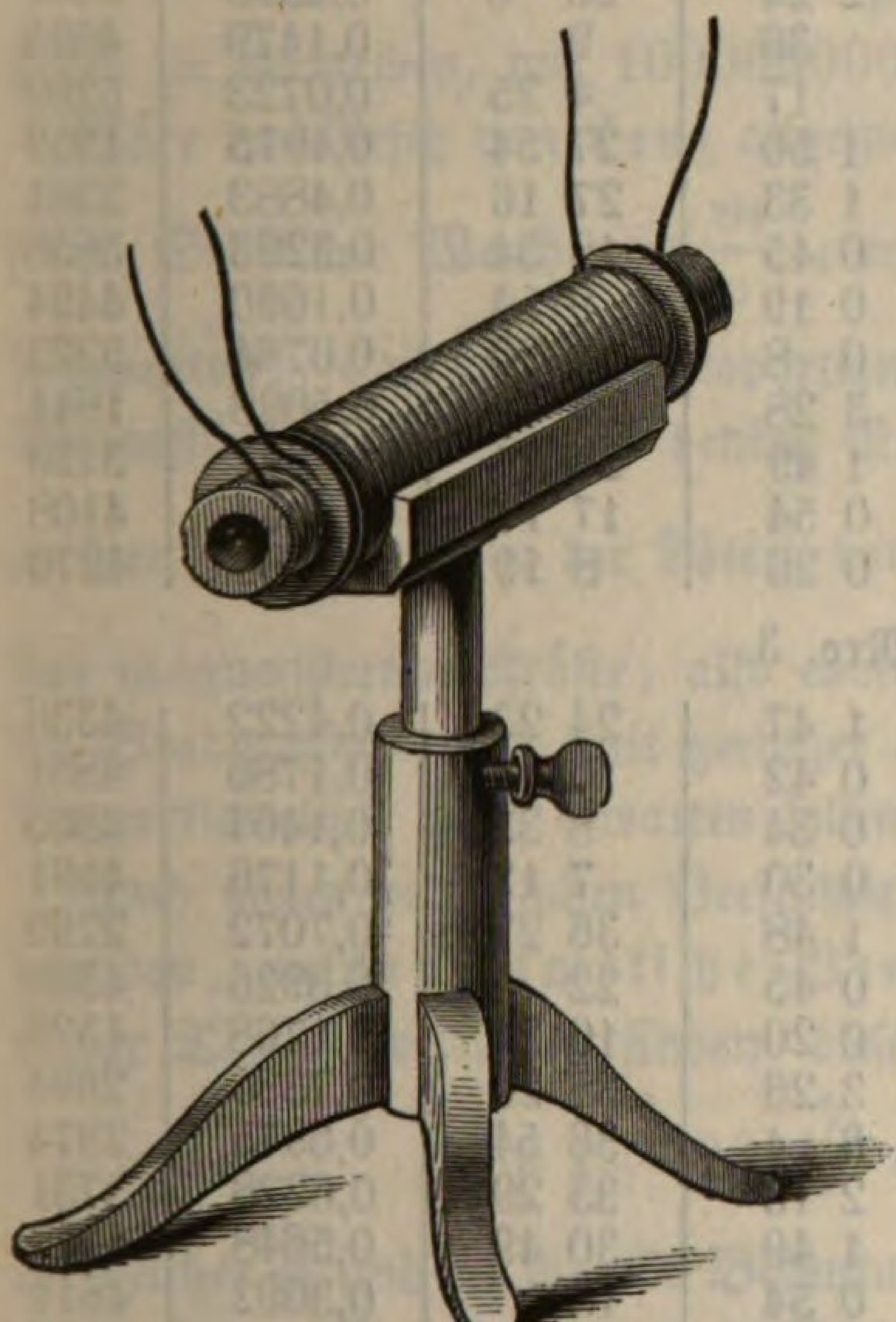
zu einem Elemente combinirt waren, so daß man eine Säule von zwei großen Elementen hatte, er ging durch die Magnetisirungsspirale *s* und durch die Tangentenbussole *t*, welche so weit abstand (50 Fuß), daß der Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe keinen merklichen Einfluß auf die Nadel in *t* ausüben konnte.

Als Einheit der Stromstärke wurde ein Strom genommen, der in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas von 0^0 und 760^{mm} Spannkraft liefert. Um die Angaben der Tangentenbussole auf diese Einheit zu reduciren, muß die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt werden (S. 250).

Die Magnetisirungsspirale stand rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian; zur Messung des Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe diente eine 88 Centimeter östlich von ihm aufgestellte Bussole *b*.

Die Einrichtung in Aufstellung der Magnetisirungsspirale ist aus Fig. 164 zu ersehen. Zwei Drahtrollen waren in einander gesteckt, von

Fig. 164.



denen jede aus drei Drahtlagen bestand; die innere war 532^{mm} lang, mit grüner Seide übersponnen und soll deshalb mit *g* bezeichnet werden; sie bestand aus 408 Windungen eines $3,1^{mm}$ dicken Kupferdrahtes; die äußere, 482^{mm} lange, violett übersponnene und deshalb mit *v* bezeichnete, bestand aus 372 Windungen eines $2,7^{mm}$ dicken Kupferdrahtes.

Die zu den Versuchen angewandten Stäbe waren von gewalztem Eisen und nicht weiter abgedreht; ihre Länge war 560^{mm}, so daß sie noch etwas auf jeder Seite aus der Spirale herausragten; der Stab Nro. 1 war 9^{mm} dick; Nro. 2 — 12^{mm}; Nro. 3 — 15^{mm}; Nro. 4 endlich 44^{mm}. Die drei dünneren Stäbe wurden in die innere Hülse eingeschoben; um den dicksten in *v* einzuschieben, mußte erst *g* herausgenommen werden.

Die Beobachtungsresultate unserer Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	c.	a.	s.	p.	u'.	u.	m.	$\frac{m}{p}$.
				Stab Nro. 1.				
5	v	32°,2	44,076	16397	2° 48′	18°	0,2760	1683
6	v	28,2	37,534	13963	2 27	17 33′	0,2735	1959
9	v	15,4	19,278	7110	1 20	13 41	0,2202	3097
14	v	3,2	3,913	1456	16	3 41	0,2597	4100
4	g	34,4	47,929	19555	1 30	16 44	0,2744	1403
8	g	15,5	19,411	7921	39	13 46	0,2337	2937
2	g	41,6	62,146	25356	1 49	17 33	0,2845	1122
11	g	7,0	8,596	3507	18	8 6	0,1371	3909
13	g	3,2	3,913	1596	8	3 49	0,0644	4004
1	v+g	27,0	35,665	27819	3 31	19 8	0,2864	1027
3	v+g	23,5	30,436	23740	3 4	18 40	0,2842	1197
7	v+g	13,6	19,933	13288	1 2	16 18	0,2627	1967
10	v+g	7,0	8,596	6705	54	12 36	0,2078	3090
12	v+g	3,2	3,913	3052	24	7 12	0,1193	3909
				Stab Nro. 2.				
4	v	32,2	44,079	16397	2 48	27	0,4606	2808
6	v	27,5	36,442	13556	2 24	26 6	0,4325	3309
11	v	7	8,596	3198	36	9	0,1479	4625
13	v	3,3	3,731	1388	17	4 25	0,0723	5209
2	g	42,2	63,469	25895	1 50	27 54	0,4975	1959
3	g	35,6	50,113	20546	1 33	27 16	0,4883	2381
7	g	17,5	22,064	9001	0 45	18 54	0,3293	3658
9	g	7,5	9,212	3758	0 19	9 54	0,1690	4494
12	g	3,4	3,752	1531	0 8	4 30	0,0764	5223
1	v+g	26,6	28,039	27638	3 28	29 42	0,5098	1844
5	v+g	14,0	17,451	13612	1 49	24 32	0,4247	3120
8	v+g	7,0	8,596	6705	0 54	17 17	0,2954	4108
10	v+g	3,4	4,158	3243	0 26	8 19	0,1386	4270
				Stab Nro. 3.				
6	v	20,5	26,173	9736	1 47	24 23	0,4222	4336
11	v	8	9,835	3659	0 42	10 48	0,1786	4881
13	v	6,4	7,854	2922	0 34	8 33	0,1404	4805
14	v	5,7	6,886	2506	0 30	7 12	0,1176	4591
2	g	41,5	61,929	25267	1 48	36 27	0,7072	2799
7	g	17,5	22,064	9001	0 45	22 5	0,3926	4361
10	g	7,8	9,590	3903	0 20	10 21	0,1768	4529
1	v+g	26,5	34,902	27223	3 26	38 26	0,7335	2694
3	v+g	23,6	30,583	23855	3 4	36 54	0,6975	2974
4	v+g	17	21,399	16691	2 13	33 29	0,6228	3731
5	v+g	14	17,451	13618	1 49	30 49	0,5648	4147
8	v+g	7	8,596	6705	0 54	18	0,3092	4611
9	v+g	6	7,357	5738	0 47	15 2	0,2675	4662
12	v+g	3,4	4,158	3243	0 26	9 11	0,1541	4748
				Stab Nro. 4.				
1	v	33,1	45,633	16975	2 52	54 43	0,3631	8041
2	v	20,2	25,753	9580	1 45	39 22	0,7898	8244
3	v	18,8	19,810	7369	1 22	31 44	0,5946	8069
4	v	12,0	14,832	5536	1 2	25 44	0,4640	8381
5	v	7,4	9,093	3383	0 38	15 38	0,2730	8129
6	v	6,5	7,973	2946	0 34	14 30	0,2487	8102

Die mit c überschriebene Columne giebt die Combination der Drahtspiralen an; v bezeichnet die violette Spirale allein; g die grüne allein; $v+g$ die beiden Spiralen so combinirt, daß der Strom erst die eine, dann die andere durchläuft. Die mit a überschriebene Columne enthält die an der Tangentenbussole abgelesene Ablenkung; die mit s überschriebene enthält die entsprechende Stromstärke, welche man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt. Die magnetisirendende Kraft p, welche in der folgenden Columne steht, ist durch Multiplication der Stromstärke mit der Anzahl der von dem Strom durchlaufenen Windungen erhalten worden. Die mit u' überschriebene Columne giebt die Ablenkung an, welche die Spirale für sich allein an der Bussole b Fig. 163 hervorbringt, während man unter u die von dem magnetisirten Eisenstab und der Spirale zugleich hervorgebrachte Ablenkung dieser Bussole findet. $tang.u - tang.u'$ giebt das Maaß für den Stabmagnetismus, wie man ihn in der mit m überschriebenen Columne findet. Die letzte Columne endlich enthält die Werthe des Quotienten $\frac{m}{p}$, und zwar, um die vielen Decimalstellen zu vermeiden, mit 100000000 multiplicirt.

Wäre das Gesetz von Lenz allgemein wahr, so müßte für einen und denselben Stab der Werth von $\frac{m}{p}$, constant bleiben; die Unterschiede sind aber so bedeutend, daß an eine Proportionalität des Stabmagnetismus und der Stromstärke nicht mehr zu denken ist. Im Allgemeinen sieht man, daß für größere Werthe von p der Werth von $\frac{m}{p}$ kleiner ausfällt, daß für größere magnetisirende Kräfte, also caeteris paribus für größere Stromstärke, der Stabmagnetismus weit geringer ausfällt, als man nach dem Gesetz der Proportionalität hätte erwarten sollen.

Nach vielen vergeblichen Versuchen ist es mir gelungen eine Formel aufzufinden, welche sämmtliche Versuchsresultate umfaßt, die sich in obiger Tabelle verzeichnet finden; diese Formel ist

$$p = 220\, d^{3/2}\, tang. \frac{m}{0{,}00005\, d^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

in welcher p und m dieselbe Bedeutung haben, wie in obiger Tabelle, während d den Durchmesser des Stabes bezeichnet. Aus dieser Gleichung folgt:

1) Für $p = \infty$ ist $\frac{m}{0{,}00005\, d^2} = 90^0$ also $m = 90 \cdot 0{,}00005\, d^2$; für eine unendliche Stromstärke würde demnach der Stabmagnetismus doch nur einen endlichen Werth erhalten, es giebt also für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus, und die-

ses magnetische Maximum ist dem Quadrate des Durchmessers, also dem Querschnitt des Stabes, proportional.

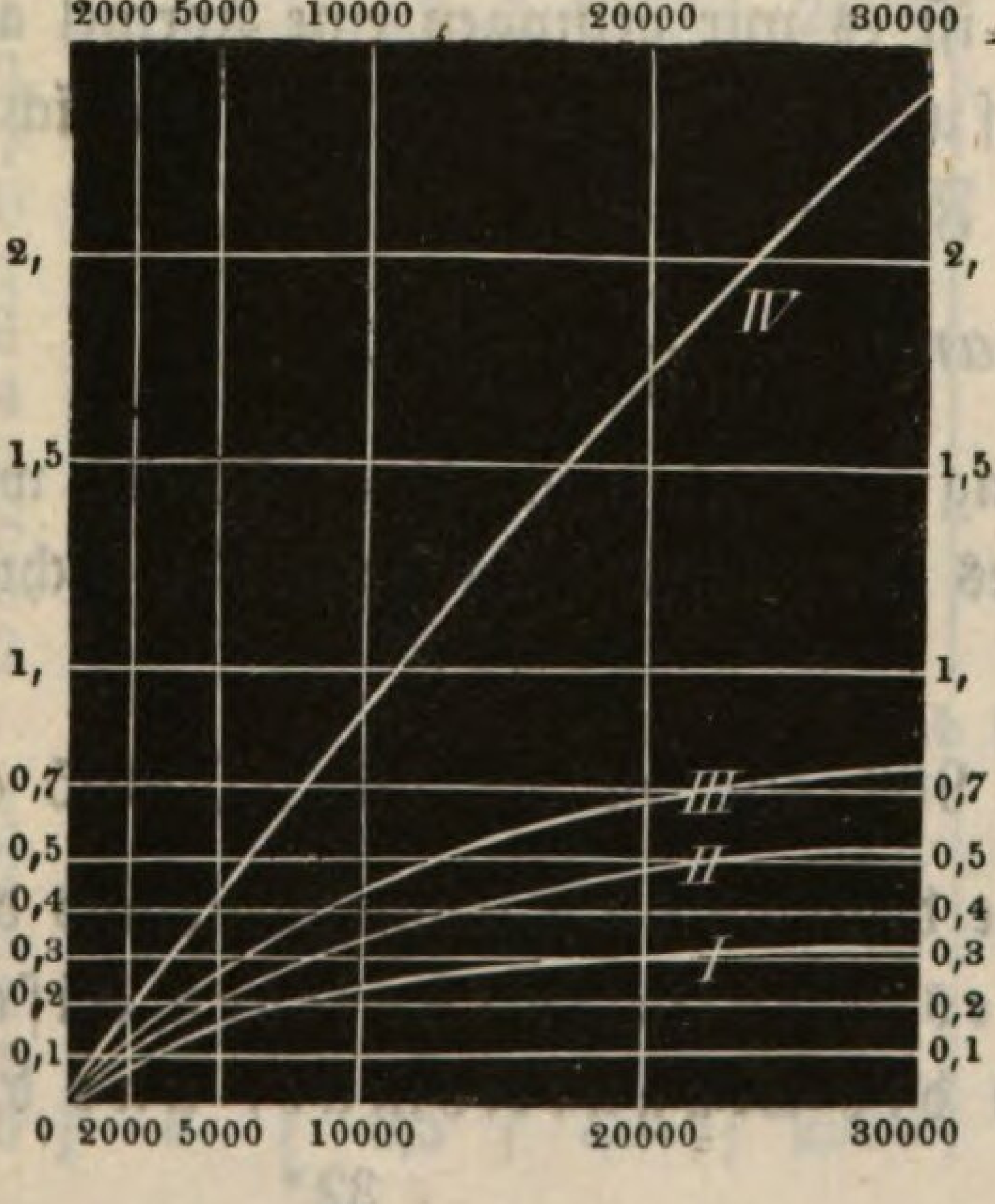
2) Wenn der Magnetismus verschiedener Stäbe denselben Theil ihres absoluten magnetischen Maximums ereichen soll, so muß man für alle den Werth von $\frac{m}{0,00005 d^2}$ gleich setzen; alsdann aber verhalten sich die entsprechenden Werthe von p wie $d^{3/2}$; d. h. um in verschieden dicken Eisenstäben denselben aliquoten Theil ihres magnetischen Maximums zu erzeugen, muß man Ströme anwenden, die sich verhalten wie die Quadratwurzel aus der dritten Potenz der Halbmesser. Wenn also z. B. eine bestimmte Stromstärke f in einem Eisenstab einen Magnetismus erzeugt, welcher die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums beträgt, so wird man, um in einem zweimal dickeren Stabe gleichfalls $1/2$ des absoluten magnetischen Maximums zu erreichen, caeteris paribus einen $\sqrt{2^3}$ also einen 2,83mal stärkeren Strom nöthig haben.

3) So lange *tang.* $\frac{m}{0,00005\, d^2}$ nur einen kleinen Winkelwerth hat, sind p und m ziemlich nahe proportional und man kann ohne merklichen Fehler

$$p = a \,.\, 220\, d^{3/2}\, \frac{m}{d^2}$$

setzen, wo a einen leicht zu ermittelnden constanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt sich aber $m = \frac{p \cdot \sqrt{d}}{a \,.\, 220}$, so weit man also den Stabmagnetismus der Stromstärke proportional setzen kann, ist der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmesser proportional.

Fig. 165.



Um das Verhältniß anschaulicher zu machen, nach welchem der Stabmagnetismus wächst, wenn die Stromstärke zunimmt, ist es nach der Gleichung (1) in Fig. 165 für unsere vier Stäbe graphisch dargestellt; die Absciſſen sind der magnetisirenden Kraft, die Ordinaten sind dem Stabmagnetismus proportional aufgetragen. Die unterste Curve entspricht dem dünnsten, die oberste dem dicksten Eisenstab. Vergleicht

man diese Figur mit den Zahlen der obigen Tabelle, so ist wohl keine weitere Erläuterung zu ihrem Verständniß nöthig.

Wäre das Lenz'sche Gesetz allgemein gültig, so müßten diese vier Curven gerade Linien seyn, was nur bei der Curve Nr. IV annähernd der Fall ist. Der Anblick der Fig. 165 schon zeigt uns, daß wir mit den Stromstärken, mit denen wir operirten, für den dünnsten Stab dem absoluten magnetischen Maximum schon sehr nahe gekommen sind, indem die Curve I. auf ihrer rechten Seite schon einen fast horizontalen Lauf hat.

Die Abweichung unserer Curven von einer geraden Linie ist der Art, daß man sie unmöglich auf Rechnung von Beobachtungsfehlern schreiben kann; wenn Lenz aus seinen Versuchen das Gesetz der Proportionalität ableiten konnte, so hat dies seinen Grund gewiß nur darin, daß er im Verhältniß zu seinen Eisenstäben zu schwache Ströme anwandte.

Es bleibt jetzt noch übrig nachzuweisen, in wie weit die Gleichung (1) wirklich den wahren Zusammenhang zwischen Stabmagnetismus, Stabdicke und Stromstärke darstellt. Zu diesem Zwecke sind für sämmtliche in obiger Tabelle enthaltenen Werthe von p nach dieser Gleichung die entsprechenden Werthe von m berechnet und in der folgenden Tabelle mit den beobachteten Werthen von m zusammengestellt worden.

p	m		Unterschied.	p	m		Unterschied.
	beobachtet.	berechnet.			beobachtet.	berechnet.	
	Stab Nro. 1.				Stab Nro. 2.		
27819	0,2864	0,3156	+ 0,0292	27638	0,5098	0,5162	+ 0,0064
25356	0,2845	0,3113	+ 0,0268	25895	0,4975	0,5081	+ 0,0106
23746	0,2842	0,3075	+ 0,0233	20546	0,4883	0,4753	— 0,0130
19555	0,2744	0,2979	+ 0,0235	16397	0,4606	0,4383	— 0,0223
16397	0,2760	0,2837	+ 0,0077	13612	0,4247	0,4041	— 0,0206
13963	0,2735	0,2674	— 0,0052	9001	0,3293	0,3207	— 0,0086
13288	0,2627	0,2668	+ 0,0041	6705	0,2954	0,2610	— 0,0344
7921	0,2337	0,2151	— 0,0186	3758	0,1690	0,1609	— 0,0081
7110	0,2202	0,2030	— 0,0173	3243	0,1386	0,1406	+ 0,0020
6705	0,2078	0,1962	— 0,0116	3198	0,1379	0,1388	+ 0,0009
3507	0,1371	0,1237	— 0,0134	1531	0,0764	0,0685	— 0,0087
3052	0,1193	0,1002	— 0,0091	1388	0,0723	0,0621	— 0,0102
1596	0,0644	0,0605	— 0,0039				
1456	0,0597	0,0558	— 0,0039				

p	m beob-achtet.	m be-rechnet.	Unter-schied.	p	m beob-achtet.	m be-rechnet.	Unter-schied.
Stab Nro. 3.				Stab Nro. 4.			
27223	0,7335	0,7328	— 0,0007	16975	1,3631	1,4137	+ 0,0506
25267	0,7072	0,7215	+ 0,0143	9580	0,7898	0,8082	+ 0,0184
23855	0,6975	0,6968	+ 0,0014	7369	0,5946	0,6264	+ 0,0218
16691	0,6228	0,5940	— 0,0288	5536	0,4640	0,4712	+ 0,0072
13618	0,5648	0,5266	— 0,0382	3383	0,2750	0,2892	+ 0,0142
9736	0,4222	0,4217	— 0,0005	2946	0,2487	0,2504	+ 0,0017
9001	0,3926	0,3974	+ 0,0048				
6705	0,3092	0,3127	+ 0,0035				
5738	0,2642	0,2732	+ 0,0090				
3903	0,1768	0,1917	+ 0,0149				
3659	0,1786	0,1805	+ 0,0019				
3243	0,1541	0,1548	+ 0,0007				
2922	0,1404	0,1455	+ 0,0051				
2562	0,1283	0,1314	+ 0,0138				

Die Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen von m ist von der Art, daß man wohl berechtigt ist, die Gleichung (1) für den wahren Ausdruck des Zusammenhanges zwischen Magnetismus und Stromstärke anzusehen, namentlich wenn man den großen Umfang unserer Versuchsreihen sowohl in Beziehung auf Stromstärke als auf Stabdurchmesser bedenkt. Die Differenzen sind von der Art, daß man sie ohne Anstand auf Kosten der Beobachtungsfehler setzen darf, deren mehrere sich summiren können, welche nicht allein in der Aufstellung, Centrirung und Ablesung der Bussolen, sondern auch darin zu suchen sind, daß die Stäbe (gewalztes Eisen, nicht weiter abgedreht) keinen vollkommnen kreisförmigen Durchmesser hatten und Fehler in der Messung ihrer Dicke begangen wurden, was namentlich die vorherrschend positiven Differenzen beim Stab Nr. 4 bedingt, dessen Durchmesser wohl im Vergleich zu den übrigen Stäben zu groß angenommen seyn mag.

Man könnte die Frage aufwerfen, wie es denn möglich gewesen sey, daß zwei so geschickten und genauen Experimentatoren, wie Lenz und Jakobi, das wahre Gesetz des Elektromagnetismus entgangen sey. Darauf ist vor Allem zu bemerken, daß das von jenen Physikern aufgestellte Gesetz keineswegs falsch, sondern nur nicht allgemein gültig ist. Es ist wahr innerhalb gewisser Gränzen, es ist wahr für dicke Stäbe und schwächere Ströme; und für solche haben Lenz und Jakobi ihre Untersuchungen nur ange-

stellt. Innerhalb dieser Gränzen fällt ihr Gesetz mit den von mir aufgestellten zusammen. Daß Lenz und Jakobi ihre Versuche namentlich in Beziehung auf Stromstärke nicht weiter ausdehnten, kann aber nicht auffallen, wenn man bedenkt, daß man zu jener Zeit noch keine constanten Ketten hatte, und sich diesen Untersuchungen überhaupt ungleich größere experimentelle Schwierigkeiten entgegenstellten, als jetzt.

Anwendung des Magnetometers zur Ermittelung der Gesetze 194
des Elektromagnetismus. Durch obige Versuchsreihe ist nun die Form der Function zwischen Stromstärke und Stabmagnetismus festgesetzt; die Stromstärke ist auf eine bestimmte Einheit zurückgeführt, die Werthe für die Stärke des Magnetismus sind aber noch ganz von den Individualitäten des Versuchs behaftet; um sie davon zu befreien, müßte man die Werthe für den Stabmagnetismus auf Gauß und Weber's absolutes Maaß zurückführen, wofür jedoch nicht genug zuverlässige Data vorliegen.

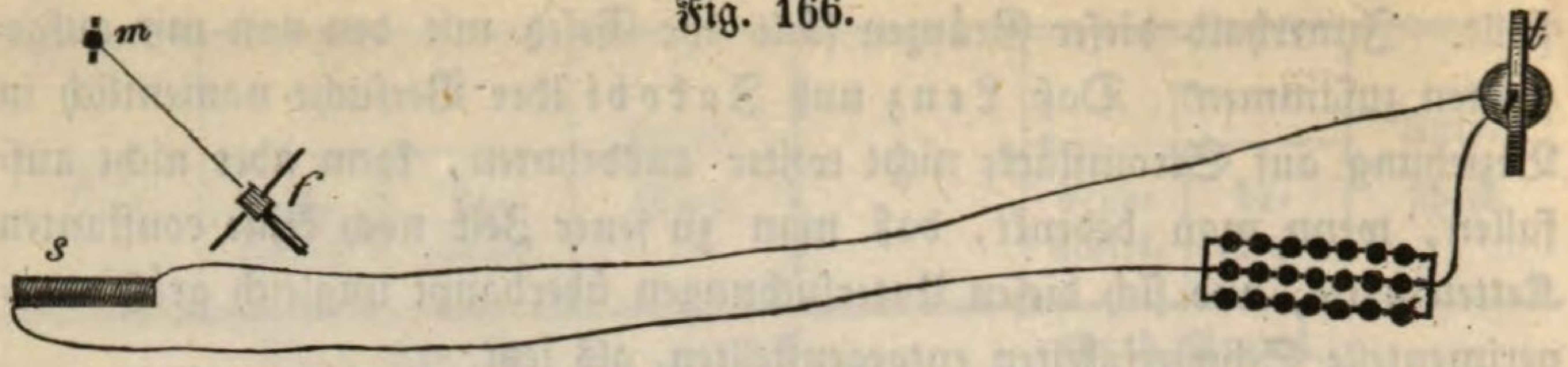
Um einerseits diese Reduction möglich zu machen, anderseits aber auch den Umfang der Versuche zu erweitern und ihre Genauigkeit zu erhöhen, schritt ich zür Anstellung einer zweiten Versuchsreihe, in welcher ich zur Messung des Stabmagnetismus statt einer Bussole ein Magnetometer mit Spiegel anwandte.

Da unsere Mittel nicht ausreichen, um ein Magnetometer von einem derjenigen Mechaniker zu beziehen, welche sich in Anfertigung dieser Instrumente Ruf erworben haben, so war ich genöthigt, mir selbst ein solches mit den einfachsten Mitteln herzustellen. Es war in einem Erker unsers physikalischen Cabinets an einem 9 Fuß langen feinen Metalldrahte aufgehängt. Die Magnetisirungsspirale war im magnetischen Meridian des Magnetometers und zwar nördlich von demselben aufgestellt, und zwar so, daß die Mitte der Spirale und die Mitte des Magnetometerstabs in derselben Horizontalebene lagen. Es versteht sich von selbst, daß die Axe der Magnetisirungsspirale rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stand. Die Länge des von dem Drehpunkt des Magnetometers auf die Axe der Spirale gefällten Perpendikels betrug 217 Centimeter. Die Scala, welche durch das Fernrohr im Spiegel des Magnetometers abgelesen wurde, war 208 Centimeter weit von der Drehungsaxe des Magnetometers entfernt; ich hatte dieselbe von Göttingen bezogen, es ist also die allgemeine bei Magnetometerbeobachtungen gebräuchliche in Millimeter getheilte Scala. Die abgelesenen ganzen Zahlen sind Centimeter, die Millimeter erscheinen auf der ersten Decimalstelle.

Die Aufstellung der Tangentenbussole war dieselbe wie früher. Die Entfernung der Spirale von der Tangentenbussole betrug gegen 100 Fuß.

Dieser größeren Entfernung wegen war auch eine stärkere Batterie nöthig; es wurde bei diesen Versuchen eine Säule von 7 dreifachen Bunsen'schen Bechern angewandt. Fig. 166 stellt die Anordnung dieser Versuche dar, *m* ist das Magnetometer, *f* das Fernrohr.

Fig. 166.



Zunächst machte ich Versuche mit einer Magnetisirungsspirale, welche Herr Professor Frick mir geliehen hatte; sie ist drei Decimeter lang und hat einen inneren Durchmesser von 49 Millimetern. Sie besteht aus 5 Lagen Kupferdraht von 2,8^{mm} Durchmesser; jede Lage hat 76 Windungen.

Die eingeschobenen Stäbe von ganz weichem deutschen Eisen waren möglichst genau cylindrisch abgedreht und 3,3 Decimeter lang, sie ragten also auf jeder Seite 1,5 Centimeter vor. Diese Stäbe hatten folgende Durchmesser:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1	44,5^{mm}	296,8	1980
2	29,8	162,6	888
3	15	58,1	225
4	6	14,7	36

Ich habe hier gleich die Werthe von $d^{3/2}$ und d^2 beigesetzt, weil dieselben doch alsbald gebraucht werden.

Die dünnern Stäbe wurden durch Hülsen von Holz in der Axe der Spirale gehalten.

Wurde nun nach eingeschobenem Eisenstab die Kette geschlossen, so wurde das Magnetometer aus seine Gleichgewichtslage abgelenkt, und oscillirte lange um seine neue Gleichgewichtslage, welche man dadurch ermitteln mußte, daß man mehrmals hinter einander die Gränzen der Oscillationen beobachtete. Ich habe stets 10 Hin- und 10 Hergänge abgelesen. So wurden z.B., als der Stab Nro. 4 eingeschoben war und die Spirale von einem Strom durchlaufen wurde, welcher an der Tangentenbussole 29,8° Ablenkung hervorbrachte, folgende Beobachtungen am Magnetometer gemacht. Die durch das Fernrohr im Magnetometerspiegel beobachtete Scala schwankte:

				Summa
von Theilstrich	51,65	bis	55,5	107,15
»	51,6	»	55,8	107,4
»	51,7	»	55,8	107,5
»	51,75	»	55,7	107,45
»	51,6	»	55,7	107,3
»	51,65	»	55,85	107,5
»	51,85	»	56,0	107,85
»	51,45	»	55,95	107,40
»	51,5	»	56,1	107,6
»	51,7	»	55,7	107,4
	53,77		Im Mittel	107,45

In der dritten Columne findet man die Summe der bei jeder einzelnen Oscillation beobachteten Gränzen. Das arithmetische Mittel aus dieser Summe halbirt, giebt die Gleichgewichtslage 53,77 an, um welche das Magnetometer schwankte.

Nun wurde der Strom umgekehrt, die Tangentenbussole gab nach entgegengesetzter Richtung eine Ablenkung von 29,3°, die Magnetometerscala schwankte

von Theilstrich	63,7	bis	56,6 . . .	120,3
»	63,7	»	56,6 . . .	120,3
»	63,8	»	56,6 . . .	120,4
»	63,7	»	56,4 . . .	120,1
»	63,4	»	56,6 . . .	120,0
»	63,65	»	56,35 . . .	120,0
»	63,8	»	56,2 . . .	120,0
»	63,9	»	56,4 . . .	120,3
»	63,4	»	56,3 . . .	119,7
»	63,5	»	56,5 . . .	119,8
		60,05		Mittel 120,1

Die folgende Tabelle giebt nun eine Zusammenstellung der Beobachtungen, welche auf diese Weise mit der erwähnten 3 Decimeter langen Spirale und den oben näher bezeichneten 4 Eisenstäben angestellt wurden.

a		*b*			
Tangentenbussole.	Magnetometer.	Tangentenbussole.	Magnetometer.	*s*	*m*
		Stab Nro. 1.			
40,35	32,7	35,9	76,06	0,785	20,41
36,6	34,74	34,75	74,90	0,718	19,01
19,5	45,61	18,5	64,23	0,344	8,80
7,5	51,76	7,25	58,96	0,129	3,41
		Stab Nro. 2.			
48,4	30,6	44,15	77,42	1,045	21,83
33,5	40,87	32,1	69,55	0,644	13,38
22,6	46,47	22,5	64,64	0,414	8,48
14,75	50,09	14,3	61,2	0,259	5,17
7,5	52,98	7	58,49	0,127	2,56

a		b			
Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	*s*	*m*
Stab Nro 3.					
48	40,51	47	69,89	1,091	13,09
31,9	46,22	30,95	65,80	0,611	8,31
22,75	49,37	22,2	62,5	0,414	5,44
12,5	52,35	12,5	59,45	0,221	3,03
7,4	53,76	7	57,76	0,126	1,81
Stab Nro. 4.					
41,7	52,28	40,4	60,1	0,871	2,61
29,8	53,77	29,3	60,04	0,567	2,29
21,2	54,22	20,6	59,66	0,382	2,15
12,1	54,7	12	58,9	0,213	1,78
7,1	55,26	7	57,91	0,124	1,14
Spirale ohne Eisen.					
44,6	53,7	43	56,93	0,959	1,415
34,5	54,18	33	56,2	0,667	1,010

Unter *a* stehen die mit der einen, unter *b* die mit der entgegengesetzten Stromrichtung gemachten Beobachtungen.

Jede der unter der Ueberschrift »Magnetometer« in der 2ten und 4ten Columne stehenden Zahlen ist die aus 10 beobachteten Oscillationen auf die erläuterte Weise abgeleitete Mittelzahl.

In der 5ten Columne unter *s* steht die trigonometrische Tangente des Winkels, welcher das Mittel aus zwei correspondirenden Ablesungen der Tangentenbussole ist; so z. B. ist 0,785 gleich $tang. \frac{40,35 + 35,9}{2} = tang. (38^0\ 7,2')$.

Die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetischen Meridian, welche dieser mittleren Stromstärke entspricht, ist die halbe Differenz der beiden correspondirenden Magnetometerablesungen; der Stromstärke 0,785 entspricht also bei eingeschobenem Eisenstab Nro. 1 die Magnetometerablenkung $\frac{76,06 - 32,70}{2} = 21,68$.

Die Ablenkung des Magnetometers ist aber nicht allein durch den Magnetismus des Eisenstabes, sondern auch durch die Einwirkung des Stromes in der Spirale bewirkt; um die Einwirkung des Stromes in der Spirale rein zu haben, muß man natürlich die Wirkung der Spirale

von der Totalwirkung abziehen. Um dies ausführen zu können, sind die beiden letzten Beobachtungen obiger Tabelle ohne Einschiebung eines Eisenstabes angestellt worden.

Die durch die Spirale hervorgebrachte Ablenkung des Magnetometers beträgt jenen Versuchen zu Folge 1,415 Theilstriche, für die Stromstärke 0,959 und 1,01 Theilstriche für die Stromstärke 0,667; woraus sich als Mittel für die Stromstärke 1 die Magnetometerablenkung 1,494 ergiebt; daraus folgt nun, daß die ablenkende Wirkung, welche die Spirale allein hervorbringt,

für die Stromstärke	0,1	0,149
» » »	0,2	0,299
» » »	0,3	0,448
» » »	0,4	0,598
» » »	0,5	0,747
» » »	0,6	0,896
» » »	0,7	1,046
» » »	0,8	1,195
» » »	0,9	1,344
» » »	1,0	1,494 Theilstriche

beträgt, wonach man für jede Stromstärke leicht die Ablenkung berechnen kann, welche die Spirale allein hervorbringt; so berechnet sich die Wirkung der Spirale für die Stromstärke 0,785 foldengermaßen:

für	0,7	1,046
»	0,08	0,119
»	0,005	0,007
also für	0,785	1,172.

Ziehen wir diese Größe ab von 21,68, also von der Totalablenkung, welche bei der Stromstärke 0,785 Spirale und Eisen hervorbringen, so bleibt 20,41 für die Ablenkung, welche der Magnetismus des Eisens allein hervorgebracht haben würde. Die so berechneten Werthe der Stabwirkung finden sich in unserer Tabelle in der 6ten Columne unter *m*.

Diese Werthe von *m* können wir ohne Weiteres als das Maaß für die Stärke des Stabmagnetismus annehmen.

Diese Methode aus den Beobachtungen, die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetischen Meridian zu bestimmen, setzt stillschweigend voraus, daß sich die Lage des magnetischen Meridians während der Dauer zweier correspondirenden Beobachtungen nicht ändert; durch die Umkehrung des Stromes kam aber häufig das Magnetometer in so bedeutende Oscillationen, daß das Spiegelbild über die Gränzen der Scala hinausging, so daß man längere Zeit, einigemale sogar über eine Stunde, war-

ten mußte, ehe man die Ablesungen beginnen konnte. Unterdessen konnnte sich natürlich die Lage des magnetischen Meridians geändert haben, ohne daß man im Stande war, dieser Aenderung Rechnung zu tragen, während zugleich die Stromstärke bedeutend abnahm, so daß die correspondirenden Ablesungen der Tangentenbussole unter *a* und *b* oft bedeutend differiren. Von diesem Uebelstande rührt es nun her, daß die aus den Beobachtungen berechneten Resultate weniger genau sind, als man es im übrigen von der Ablesungsmethode hätte erwarten sollen.

Um die Veränderungen in der Lage des magnetischen Meridians zu eliminiren, müßte man gleichzeitig den Gang eines zweiten, hinlänglich weit von der Spirale von dem ersten entfernten Magnetometer beobachten, wozu mir die Mittel fehlten.

Viel ließe sich auch dadurch gewinnen, daß man die Umkehrung des Stromes in einem Momente vornähme, in welchem das oscillirende Magnetometer seine Gleichgewichtslage in einer Richtung passirt, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, nach welcher durch die Umkehrung des Stromes die Richtung des Magnetometers verändert wird. Durch diesen Kunstgriff erreicht man, daß die Oscillationen nicht so groß werden, und daß man alsbald nach Umkehrung des Stromes wieder ablesen kann, daß also in der Zwischenzeit zwischen zwei correspondirenden Beobachtungen keine allzubedeutenden Veränderungen in der Stromstärke und in der Declination vorgehen. Auf diesen Kunstgriff wurde ich leider erst zu spät aufmerksam.

Mit der schon oben erwähnten combinirten blauen und grünen Spirale wurde eine ähnliche Versuchsreihe angestellt. Die eingeschobenen jetzt abgedrehten Eisen waren 57 Centimeter lang und hatten folgende Durchmesser:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1 . . .	12mm	41,56	144
2 . . .	9	27	81
3 . . .	7,1	48	50,4

Die Beobachtungsresultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

a		*b*			
Tangentenbussole.	Magnetometer.	Tangentenbussole.	Magnetometer.	*s*	*m*
Stab Nro. 1.					
37,55	73,08	36	37,01	0,747	16,82
17	69,47	16,5	41,5	0,301	13,09
10,4	67,15	10,3	43,92	0,183	11,61

a		*b*			
Tangentenbussole.	Magnetometer.	Tangentenbussole.	Magnetometer.	*s*	*m*
Stab Nro. 2.					
35,6	67,27	34 1	44,02	0,699	9,51
22,1	66,72	22	46,41	0,405	8,95
12.7	65,33	12,35	48,15	0,222	7,93
Stab Nro. 3.					
39,3	65,30	38,8	47.61	0,811	6,48
34	63,96	33,2	47,40	0.667	6,30
13,8	62,74	12,75	50,55	0,236	5,39
Die Spiralen ohne Eisen.					
38	57,65	37	53,09	0,767	2,8

Die Erläuterungen, welche für die Tabelle auf Seite 504 gegeben wurden, beziehen sich auch auf diese.

Berechnung der Factoren. Im Paragraph 193 ist bereits nachge- 195
wiesen worden, daß der Zusammenhang zwischen Stromstärke, Stabdurchmesser und der Stärke des Stabmagnetismus durch die Gleichung

$$S = a d^{3/2} \; tang. \frac{m}{b\, d^2}$$

ausgedrückt ist; es kommt nun darauf an zu untersuchen, wie weit auch die Resultate der beiden letzten mit den Magnetometer angestellten Versuchsreihen mit dieser Gleichung harmoniren. Zunächst müssen wir die Werthe der Factoren a und b zu ermitteln suchen, welche den beiden Versuchsreihen entsprechen. Der einfachste Weg, dies Ziel zu erreichen, scheint der zu seyn, daß nachdem man für einen bestimmten Stab den Zahlenwerth von d in die Gleichung gesetzt hat, nun der Reihe nach die zusammen gehörigen Zahlenwerthe von s und m, wie sie die Beobachtung gegeben hat, zu substituiren und so eine Reihe von Gleichungen zu bilden, in denen nur noch a und b unbekannt sind. Aus je zwei dieser Gleichungen könnte man alsdann a und b berechnen und aus den verschiedenen so erhaltenen Werthen der beiden Constanten a und b das Mittel nehmen.

Dieser Weg ist aber nicht ausführbar, weil die transscendente Form der

Gleichung eine einfache algebraische Auflösung nicht gestattet; ich mußte deshalb versuchen, indirect ans Ziel zu kommen.

Für die dickeren Stäbe sind wenigstens für die geringeren Stromstärken m und s einander proportional, so daß man den Bogen für die Tangente setzen kann; dadurch ist es möglich, das Verhältniß von a zu b, a o den Werth des Quotienten $\frac{a}{b}$, zu ermitteln. Wenn man für die dünnern Stäbe m und s auf diese Weise graphisch construirt; wie es in Fig. 165 für die früheren Beobachtungen geschehen ist, so kann man das absolute magnetische Maximum für einen solchen dünnen Stab durch Zeichnung wenigstens annährend ermitteln, und in Folge davon auch einen angenäherten Werth von b erhalten; ist aber b und $\frac{a}{b}$ bekannt, so läßt sich auch leicht der Werth von a bestimmen.

Die so ermittelten Werthe von a und b, bei deren Bestimmung aber noch keineswegs alle Beobachtungen berücksichtigt worden sind, wurden nun in die Gleichung eingeführt, und dann der zu jedem gegebenen Werth von s gehörige Werth von m berechnet, und die berechneten Werthe von m mit den beobachteten verglichen. — Stellte sich bei dieser Vergleichung heraus, daß die Differenzen zwischen dem berechneten und beobachteten m vorherrschend auf eine Seite fallen, so wurde eine entsprechende kleine Veränderung an den Factoren a und b vorgenommen, und so mit Probiren fortgefahren, bis die Summe der positiven Differenzen der Summe der negativen möglichst nahe gleich war.

Auf diese Weise ergaben sich für die erste Versuchsreihe mit der kurzen Spirale als die wahrscheinlichsten Werthe

$$a = 0{,}015$$
$$b = 0{,}00108,$$

so daß die Gleichung jetzt heißt

$$s = 0{,}016\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{m}{0{,}00108\ d^2}$$

Nach dieser Gleichung ergaben sich folgende zusammengehörige Werthe von m und s.

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 1.		
0,785	20,41	20,06	— 0,35
0,344	8,80	8,81	+ 0,01
0,129	3,41	3,31	— 0,10

s	m beobachtet.	m berechnet.	Differenz.
Stab Nro. 2.			
0,644	13,38	13,37	— 0,01
0,414	8,48	8,68	+ 0,20
0,259	5,19	5,45	+ 0,26
0,127	2,56	2,68	+ 0,12
Stab. Nro. 3.			
0,611	8,38	8,09	— 0,29
0,414	5,95	5,83	— 0,12
0,221	3,03	3,23	+ 0,20
0,126	1,81	1,87	+ 0,06
Stab Nro. 4.			
0,871	2,56	2,91	+ 0,35
0,567	2,29	2,61	+ 0,32
0,382	2,15	2,27	+ 1,2
0,213	1,78	1,64	— 0,14
0,124	1,14	1,08	— 0,06

Für die combinirte grüne und blaue Spirale ergab sich

$$a = 0,0042$$
$$b = 0,0015,$$

wonach sich folgende zusammengehörige Werthe von m und s ergaben.

s	m beobachtet.	m berechnet.	Differenz.
Stab Nro. 1.			
0,747	16,82	16,57	— 0,25
0,301	13,09	12,96	— 0,13
Stab Nro. 2.			
0,699	9,51	9,81	+ 0,30
0,405	8,95	9,03	+ 0,08
0,222	7,93	7,65	— 0,28

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz
	Stab Nro. 3.		
0,811	6,48	6,40	— 0,08
0,667	6,30	6,32	+ 0,02
0,233	5,39	5,46	+ 0,07

So ist denn auch durch die mit dem Magnetometer angestellten Versuche die Richtigkeit des in §. 193 aufgestellten magnetischen Gesetzes bestätigt worden. Die Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Werthen von m liegen innerhalb der Gränze der Beobachtungsfehler; zur genaueren Bestimmung der Factoren sind aber allerdings noch genauere Versuchsreihen nöthig.

196 **Reduction der Factoren auf bestimmte Einheiten.** Die Werthe der Factoren a und b, wie dieselben so eben ermittelt wurden, sind noch ganz und gar mit den Individualitäten der Instrumente und des Versuchs behaftet, wir müssen suchen sie von denselben zu befreien.

Der Factor a ändert sich mit der Einheit, die man für die Stromstärke annimmt, b dagegen ist abhängig von der Einheit, die man für das magnetische Moment des Eisenstabes wählt.

Die Reduction des Factors a auf chemisches Maaß ist sehr einfach, man hat die oben für a ermittelten Zahlenwerthe nur mit dem Reductionsfactor der Tangentenbussole, welcher in unserm Falle gleich 70 ist, (Seite 251) und alsdann noch mit der Anzahl der Windungen zu multipliciren, in welchen der Strom um das Eisen herumgeführt wird, also in dem einen Falle mit 76 . 5 = 380, im andern mit 780; für die kurze Spirale wird also

$$a = 0{,}016 \,.\, 380 \,.\, 70 = \mathbf{425},$$

für die combinirte blaue und grüne aber ist

$$a = 0{,}0042 \,.\, 780 \,.\, 70 = \mathbf{229}.$$

Im Paragraph 193 ist diese Reduction von vorn herein vorgenommen worden. Der Factor b ist auf Gauß und Weber's absolute magnetische Maaßeinheit zu reduciren. Zu diesem Zwecke müssen wir zunächst die Ablesungen der Scala in Tangenten des Ablenkungswinkels verwandeln. Es ist bereits angeführt worden, daß ein von der Umdrehungsaxe des Magnetometers auf die Scala gefälltes Perpendikel die Länge von 2080 Millimeter hat; folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels,

welchem 1 Theilstrich der Scala entspricht gleich $\frac{1}{4160} = 0{,}00024038$. Die Tangente des Ablenkungswinkels, welche einem Centimeter, also der Einheit entspricht, in welcher unsere Werthe von m ausgedrückt sind, ist also 0,0024038, oder es ist $tang.\ v = m\ .\ 0{,}0024038$.

Nun ist aber das magnetische Moment eines Magnetstabes in absolutem Maaß ausgedrückt

$$M = T\ .\ r^3\ tang.\ v$$

oder

$$M = T\ .\ r^3\ .\ m\ .\ 0{,}0024038$$

wo für T der Werth für die magnetische Erdkraft, für r die in Millimetern ausgedrückte Entfernung des Magnetstabes von dem Magnetometer, also in unserm Falle $2170^3 = 10218313000$ zu setzen.

Für Freiburg können wir $T = 2{,}209$ setzen (Seite 252), und so ergiebt sich

$$M = 54260210\ .\ m.$$

Substituiren wir nun in unsere Gleichung M für m, machen wir also den Zähler des Bruches $\frac{m}{b\,d^2}$ — 54260210mal größer, so müssen wir auch seinen Nenner eben so viel mal größer machen, wenn der Werth des Bruches ungeändert bleiben soll; wollen wir also auf absolutes Maaß reduciren, so müssen wir sowohl m als b mit 54260210 multipliciren; und so werden unsere Gleichungen für die kurze Spirale

$$P = 425\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{58600\ d^2}\quad \ldots\ldots\ \text{a)}$$

für die combinirte grüne und blaue Spirale aber

$$P = 229\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{81390\ d^2}\quad \ldots\ldots\ \text{b)}$$

In diesen Gleichungen bezeichnet P die auf chemisches Maaß reducirte und mit der Windungszahl multiplicirte Stromstärke, M aber das in absolutem Maaß ausgedrückte magnetische Moment des Stabes.

Das absolute Maximum des Stabmagnetismus. Der größte 197
Werth, den $\frac{M}{B\,d^2}$ (wo $B = 542602106$) erreichen kann, ist 90^0, es ist also $M = 90^0\ B\,d^2$ das absolute Maximum, dem sich das magnetische Moment des Stabes mit wachsender Stromstärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch dasselbe je vollständig erreichen zu können.

Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, ist aber

$$T\ .\ M\ . = 90\ .\ T\ .\ B d^2 = 90\ .\ 2{,}2\ .\ B\,d^2,$$

wenn $T = 2{,}2$, der Werth für Freiburg, gesetzt wird. Für die in die kurze Spirale eingeschobenen 33 Centimeter langen Stäbe haben wir also

$$TM = 90\ .\ 2{,}2\ .\ 58600\ .\ d^2 = 11247000\ d^2.$$

Soll dieser Werth auf die Schwerkraft reducirt werden, so müssen wir ihn noch mit g, also mit 9808 dividiren (Lehrb. d. Phys. 3. Aufl. 2. Bd. S. 48). Es ergeben sich auf diese Weise für die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die bis zum Maximum magnetisirten 33 Centimeter langen Stäbe bei verschiedener Dicke zu drehen strebt, in Milligrammen ausgedrückt, folgende Zahlenwerthe:

Stabdicke in Millimetern.	Drehungsmoment in Milligrammen.
5	28667
10	114670
20	458680
30	1034030
50	2866750
100	11467000

Hätte also z. B. ein 33 Centimeter langer Eisenstab von 20^{mm} Durchmesser das Maximum des Magnetismus erlangt, dem er sich, in die kurze Spirale eingeschoben, mehr und mehr nähert, wenn die Stromstärke wächst, so würde die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht, gleich seyn dem Druck von 458680 Milligrammen, an einem Hebelarm von 1 Millimeter Länge angebracht, oder, was dasselbe ist, gleich dem Drucke von 45,868 Grammen, welche an einen Hebelarm von 1 Centimeter Länge angreifen.

Die Stäbe von 50 und 100 Millimeter Durchmesser, welche in obigem Tabellchen mit aufgeführt sind, lassen sich freilich nicht in unsere Spirale einschieben; die entsprechenden Werthe des magnetischen Maximums beziehen sich also auf den Fall, daß sie in Spiralen von gleicher Länge, gleicher Windungszahl, aber größerem Durchmesser eingeschoben sind.

Aehnliche Resultate lassen sich auch aus der Gleichung b) für die längeren Spirale berechnen.

198 **Berechnung der Schwingungsdauer der bis zum Maximum magnetisirten Eisenstäbe.** Ist einmal das magnetische Moment eines Stabes bekannt, so ist es leicht, seine Schwingungsdauer für den Fall zu berechnen, daß er, an einem feinen Metalldraht aufgehängt, in horizontaler Ebene frei schwingen könnte; es ist nämlich

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Setzen wir nun für C seinen Werth $\frac{T.M}{g}$, so kommt

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{T.M}}$$

und also für die in die kurze Spirale eingeschobenen 33 Centimeter langen Eisenstäbe

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{11247000\ d^2}}.$$

Das Trägheitsmoment eines Stabes, welcher um seinen Schwerpunkt oscillirt, ist aber

$$K = \tfrac{1}{3}\, W \frac{l^2}{4},$$

wenn W das Gewicht und l die Länge des Stabes bezeichnet. Für einen 330 Millimeter langen Eisenstab ergiebt sich nach dieser Formel

$$K = 18290000\ d^2$$

also $$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{18290000\ d^2}{11247000\ d^2}}.$$

In dem unter dem Wurzelzeichen stehenden Bruche hebt sich d^2 in Zähler und Nenner, und so ergiebt sich endlich

$$t = 4{,}004 \text{ Secunden.}$$

Für die bis zum Maximum magnetisirten Eisenstäbe ist also die Schwingungszeit von dem Durchmesser unabhängig.

Vergleichen wir diese Resultate mit denjenigen, welche Häcker aus seinen Schwingungsversuchen mit magnetisirten Stahlstäben gezogen hat, und welche oben auf Seite 476 bereits erwähnt sind. Der letzte der 6 Magnetstäbe, welche in der kleinen Tabelle aufgeführt wurden, hat ungefähr gleiche Länge mit den in der kurzen Spirale eingeschobenen Eisenstäben; seine Schwingungszeit ist aber 9,23, also 2,3mal größer, das magnetische Moment jenes Stabes also 5,29mal geringer, als das absolute Maximum eines Eisenstabes von gleichen Dimensionen.

Während für Eisenstäbe, welche bis zum absoluten Maximum magnetisirt sind, die Schwingungsdauer bei gleicher Länge auch für verschiedene Durchmesser dieselbe ist, weil das Trägheitsmoment bei wachsendem Durchmesser in demselben Verhältniß wächst, wie das magnetische Moment, nimmt bei möglichst stark magnetisirten Stahlstäben die Schwingungszeit mit dem Querschnitt zu, die dünneren Stäbe sind also verhältnißmäßig stärker magnetisirt als die dicken.

Berechnung der Stromstärke, welche nöthig ist, um in Eisenstäben einen aliquoten Theil des absoluten magnetischen Maximums zu erzeugen. 199 Ist einmal für eine Magnetisirungsspirale die Gleichung bekannt, welche bei entsprechender Länge der Stäbe die Stromstärke, den Stabdurchmesser und den Stabmagnetismus verbindet, so kann man nach dieser Gleichung leicht berechnen, wie groß die Stromstärke seyn

muß, welche erforderlich ist, um in einem Stabe von gegebenem Durchmesser einen bestimmten Theil des absoluten magnetischen Maximums zu erzeugen.

Soll z. B. für die kurze Spirale und einen Eisenstab von 33 Centimeter Länge berechnet werden, welche Stromstärke nöthig ist, um die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums zu erzeugen, so hat man in Gleichung a) auf Seite 511 $\frac{M}{58600\, d^2}$ gleich 45^0, also $tang. \frac{M}{58600\, d^2} = 1$ zu setzen; es ist also

$$P = 425\ d^{3/2}.$$

Da nun aber P gleich ist der Stromstärke, multiplicirt mit der Windungszahl, welche in unserm Falle 380 ist, so haben wir für die Stromstärke

$$S = \frac{425}{380}\ d^{3/2} = 1{,}14\, d^{3/2}.$$

Danach ergiebt sich, daß, um in unserer Spirale einen Stab von 5^{mm} Durchmesser bis zur Hälfte seines absoluten Maximums zu magnetisiren, eine Stromstärke $1{,}14 . 5^3/_2 = 12{,}768$, also ein Strom nöthig ist, welcher in der Minute nahezu 13 Kubikcentimeter Knallgas liefert. Wie groß das entsprechende magnetische Moment des Stabes ist, ergiebt sich aus der Tabelle auf Seite 512.

Will man ermitteln, wie groß die Stromstärke sein muß, welche 0,3 des absoluten Maximums erzeugt, so hat man zunächst $\frac{M}{58600\, d^2} = 27^0$, also $tang. \frac{M}{58600\, d^2} = 0{,}509$ zu setzen und dann in der Weise fort zu rechnen, wie es eben angedeutet wurde.

Auf diese Weise habe ich berechnet, welche Stromstärke nöthig ist, um in einer Spirale von 30 Centimeter Länge und 380 Windungen $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ u. s. w. des absoluten Maximums in 33 Centimeter langen Stäben von 5, 10, 20 u. s. w. Millimeter Durchmesser zu erzeugen und die Resultate in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Durchmesser der Stäbe.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
5^{mm}	1,9	4,2	6,6	9,4	12,8
10	5,6	11,7	18,3	26	36
20	16	33	52	74	102
30	29	60	95	136	187
40	45	93	146	209	288
50	64	130	205	292	403
75	117	240	377	537	740
100	180	369	580	827	1140

Durchmesser der Stäbe.	0,6	0,7	0,8	0,9
5mm	16	24	39	81
10	49	70	108	227
20	140	199	306	640
30	257	366	561	1178

Wir ersehen aus dieser Tabelle, daß man in einem Stabe von 5mm Durchmesser dem absoluten Maximum mit mäßiger Stromstärke schon ziemlich nahe kommen kann, denn um 0,9 des absoluten Maximums zu erhalten, bedarf es der Stromstärke 81. Um von 0,8 des absoluten Maximums auf 0,9 zu kommen, bedarf es aber schon einer Steigerung der Stromstärke von 39 auf 81; man übersieht hier schon deutlich, daß, wenn man sich des absoluten Maximum nähert, die Vermehrung der Stromstärke nur eine verhältnißmäßig sehr geringe Vermehrung des magnetischen Momentes bewirkt.

Bei einem Stabe von 10mm Durchmesser ist schon eine sehr bedeutende Stromstärke, nämlich 227, also ein Strom, welcher in der Minute 227 Kubikcentimeter Knallgas liefert und an unserer Bussole ungefähr eine Ablenkung von 71,5^0 hervorbringen würde, nöthig, um 0,9 des absoluten Maximums zu erreichen.

Wenn eine gegebene Stromstärke in einem gegebenen Eisenstab irgend einen aliquoten Theil des absoluten magnetischen Maximums erzeugt, so wird die nämliche Stromstärke einen dickern Stab nicht bis zu demselben Grade magnetisiren können. In einem Stabe von 10mm Durchmesser z. B. erzeugt die Stromstärke 36, die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums; vertauscht man diesen Stab mit einem doppelt so dicken, so ist jetzt bei derselben Stromstärke allerdings das magnetische Moment des dickern Stabes größer, als das des dünnern vorher war, allein in jedem einzelnen Theilchen des dickern Stabes ist der Magnetismus keineswegs so stark entwickelt, als es vorhin bei den dünnern der Fall war; wie wir aus der letzten Tabelle ersehen, wird ein Stab von 20mm Durchmesser durch die Stromstärke 36 nur etwas über 0,2 seines absoluten magnetischen Maximums erhalten. Soll der 20mm dicke Eisenstab auch auf 0,5 seines Maximums gebracht werden, so müßte man die Stromstärke bis auf 102 erhöhen.

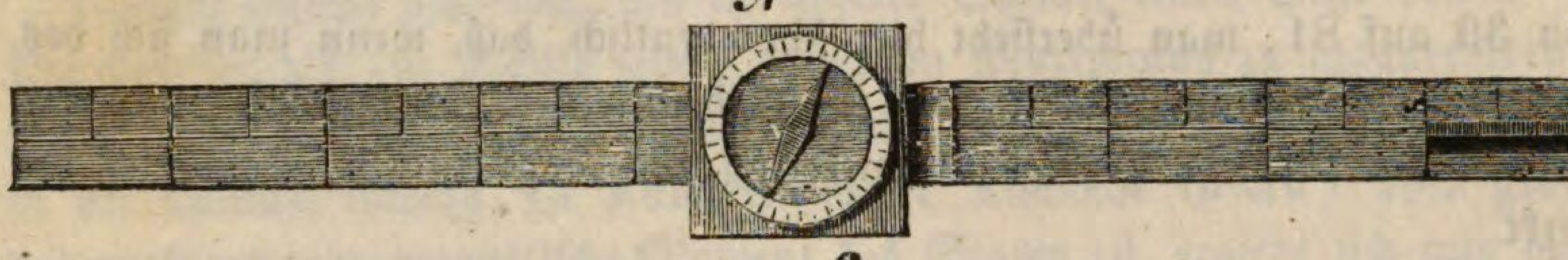
Diese Verhältnisse lassen sich leicht erklären. Gesetzt, ein Eisenstab, sey in die Spirale eingeschoben, durch eine bestimmte Stromstärke bis zu einem gewissen Grade magnetisirt worden; schiebt man nun neben denselben einen zweiten Eisenstab ein, so wirken nun auf jeden Eisenstab zwei entgegenge=

setzte magnetisirende Kräfte, denn der Magnetismus des einen Eisenstabes strebt den andern im entgegensetzten Sinn zu magnetisiren, wie der Strom in der Spirale, in jedem einzelnen Stabe kann also der Magnetismus nicht so stark entwickelt sein, als wenn der andere Stab nicht da wäre; durch eine entsprechende Vermehrung der Stromstärke kann man aber in den combinirten Stäben doch denselben Grad der Magnetisirung gleichsam erzwingen, den in dem einzelnen Stabe die geringere Stromstärke erzeugt.

Was hier von der Einwirkung des einen Stabes auf den andern gesagt wurde, gilt auch von der gegenseitigen Einwirkung der einzelnen Längenstreifen unter sich, in welche man sich jeden Eisenstab zerlegt denken kann.

Betrachten wir die analogen Verhältnisse bei Stahlmagneten. Legt man, wie Fig. 167 zeigt, einen Magnetstab östlich von der Bussole auf, so erhält man eine entsprechende Ablenkung;

Fig. 167.



wird nun ein ganz gleicher Magnetstab bei gleicher Richtung seiner Pole westlich von der Bussole in gleicher Entfernung aufgelegt, so summiren sich die Wirkungen der beiden Magnetstäbe, die Ablenkung der Bussole wird nun doppelt so groß seyn wie vorher (vorausgesetzt, daß die Ablenkungen noch klein genug sind, um die Tangenten den entsprechenden Winkeln proportional zu setzen); hätte man aber statt dessen den zweiten Magnetstab auf den ersten gelegt und zwar Südpol auf Südpol, Nordpol auf Nordpol, so wird man keineswegs eine doppelt so große Ablenkung erhalten, wie sie ein einzelner Magnetstab hervorbringt.

Dies rührt nun daher, daß der Magnetismus in einem Stahlstab theilweise wenigstens temporär den im andern aufhebt, so daß beide zusammen weniger stark magnetisirt erscheinen als ein einzelner. Hier hat man nun kein Mittel, wie die Vermehrung der Stromstärke bei Eisenstäben, welche in eine Magnetisirungsspirale eingeschoben sind, um in den combinirten Stäben doch wieder denselben Grad der Magnetisirung zu erzwingen, daher denn größere Stahlmagnete stets schwächer magnetisirt erscheinen als kleinere, wie wir denn auch oben (Seite 474) gesehen haben, daß die Tragkraft von Stahlmagneten keineswegs ihrem Gewicht proportional zunimmt.

Es wäre wichtig, zu untersuchen, ob der nachtheilige Einfluß zweier magnetischen Stahlstäbe für verschiedene Stahlsorten und für verschiedene Härtungsgrade derselbe ist.

Einfluß der Stablänge. Die in den letzten Paragraphen besprochenen Versuche sind nicht in der Absicht angestellt worden, um den Einfluß der Länge der Spirale und der Stäbe zu ermitteln, sie geben deshalb in dieser Beziehung auch nur sehr unvollständige Auskunft. — Um den Einfluß der Längenverhältnisse genauer zu erforschen, hätte man die Längendimensionen weit mehr abändern und für vollkommen gleiches Verhältniß der Länge der Spirale zur Länge des Stabes sorgen müssen. 200

Die obigen Versuche sind nur mit zweierlei Längendimensionen angestellt; einmal mit einer 30 Centimeter langen Spirale, in welche 33 Centimeter langen Stäbe eingeschoben wurden, dann mit einer Combination von zwei Spiralen, von welchen die innere 54, die äußere 48 Centimeter lang war, während die Länge der eingeschobenen Stäbe hier 57 Centimeter betrug. Für den ersten Fall haben wir die Gleichung

$$P = 425\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{5860\, d^2},$$

für den letzteren

$$P = 229\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{8139\, d^2}.$$

Die Factoren von $d^{3/2}$, nämlich 425 und 229 sind sehr nahe der Länge der entsprechenden Spirale umgekehrt proportional (wenn man bei der Combination der beiden längeren Spiralen die innere als maaßgebend betrachtet); nehmen wir dies Verhältniß als allgemein gerechtfertigt an (wozu jedoch noch weitere Versuche nöthig sind), so könnte man den Factor a im Mittel gleich $\frac{12558}{l}$ setzen, wenn l in Centimeter ausgedrückt ist, unsere Gleichung hat also die Form:

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{b\, d^2} \quad \ldots\ldots \quad c)$$

in welcher vor der Hand b noch unerörtert bleiben mag.

$P = S W$, d. h. die magnetisirende Kraft gleich der Stromstärke, multiplicirt mit der Windungszahl, die Windungszahl ist aber caeteris paribus proportional der Länge der Spirale, mithin ist $P = n S l$, wo n ein constanter Factor ist, der uns hier nicht weiter kümmert; wir haben also

$$n\ .\ S\ .\ l = \frac{12558}{l}\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{b\, d^2}$$

oder

$$S = \frac{12558}{l^2}\ .\ \frac{d^{3/2}}{n}\, tang.\ \frac{M}{b d^2}.$$

Sollen in zwei Spiralen von verschiedener Länge, aber sonst gleicher Einrichtung, zwei Eisenstäbe von gleichem Durchmesser und einer der Spirale proportionalen Länge bis zu demselben aliquoten Theil des absoluten

Maximums magnetisirt werden, so ist die hierzu erforderliche Stromstärke dem Quadrat der Länge umgekehrt proportional

Hat man z. B. eine bestimmte Stromstärke S nöthig, um einen 10^{mm} dicken, 44 Centimeter langen Eisenstab in einer 40 Centimeter langen, aus drei Lagen gebildeten Spirale zur Hälfte seines absoluten Maximums zu magnetisiren, so wird, um in einer halb so langen, ebenfalls aus drei Lagen desselben Kupferdrahtes gebildeten Spirale einen 10^{mm} dicken, aber nur 22 Centimeter langen Eisenstab gleichfalls auf die Hälfte seines absoluten magnetischen Maximums zu bringen, eine Stromstärke $_4S$ nöthig.

Gelänge es, in den Factor b der Gleichung c) gleichfalls den Einfluß der Längendimensionen einzuführen und also auch nach dieser Seite hin die Gleichung zu verallgemeinern, so würde die Gleichung c) das von allen Specialitäten entkleidete Gesetz des Elektromagnetismus darstellen.

Auf den ersten Anblick scheint es, als könne wohl der Factor b der Stablänge proportional seyn, allein während der Quotient der Länge $\frac{57}{33} = 1{,}72$ ist, ergiebt sich der Quotient der Factoren $\frac{8139}{5860} = 1{,}38$, eine Differenz, welche zu groß ist, als daß man jene Proportionalität annehmen könnte; sie ist zu groß, als daß sie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern gesetzt werden dürfte; nur wenn es sich um eine aller erste ganz grobe Annäherung handelt, welche in manchen Fällen ganz erwünscht seyn dürfte, könnte man den Factor b der Spirallänge proportional setzen, vorausgesetzt, daß Spiral- und Stablänge stets in gleichem Verhältniß stehen; als erste Annäherung könnte man also die Gleichung

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\, tang.\ \frac{M}{172\, l\, d^2}$$

anwenden.

So habe ich denn die Gesetze der Magnetisirung von Eisenstäben durch den galvanischen Strom bis zu dem Punkte entwickelt, daß zum völligen Abschluß nur noch eine genauere Ermittelung des Einflusses erforderlich ist, welchen Stab- und Spiralenlänge ausüben. — Mancherlei Umstände machen es mir gegenwärtig unmöglich, solche Versuchsreihen anzustellen, wie sie zur Lösung dieser Fragen erforderlich wären; ich muß mir dies für eine spätere Zeit vorbehalten, wenn nicht, was mich sehr freuen sollte, geschicktere Experimentatoren, denen auch mehr Hülfsmittel zu Gebote stehen, diesen wichtigen und interessanten Gegenstand aufnehmen und fortführen.

201 **Concentration des Magnetismus auf der Oberfläche magnetischer Körper?** Haldat beschreibt in der Annales de chimie et de Physique (3e série, T. II, p. 457) einige Versuche, welche beweisen sollen, daß der Magnetismus sich vorzugsweise auf der Oberfläche der

Magnete und Elektromagnete verbreitet. So steckte er z. B. in eine Magnetisirungsspirale eine Röhre von Eisen (ein Stück Flintenlauf) und fand die Tragkraft gleich, mochte nun die Höhlung der Röhre frei oder durch einen Eisencylinder ausgefüllt seyn; eben so fand er, daß eine Magnetnadel, in deren Nähe jener Elektromagnet aufgestellt war, gleich schnell oscillirte, es mochte nun ein Eisenstab in der Höhlung stecken oder nicht. Jedenfalls sind diese Versuche nicht mit hinreichender Umsicht und Genauigkeit ausgeführt, sonst hätten sie nicht zu einem Resultat führen können, welches mit den so eben entwickelten Gesetzen des Elektromagnetismus unverträglich ist.

Ganz direct wird Haldat's Behauptung durch folgenden Versuch Poggendorff's widerlegt.

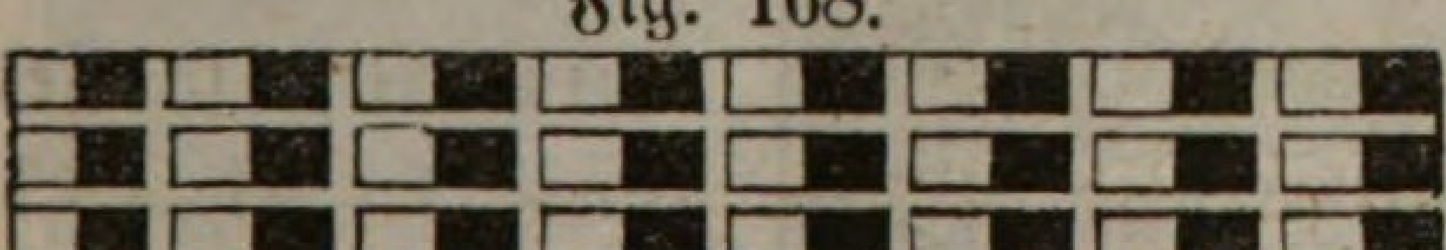
In eine Magnetisirungsspirale von 4 Zoll Länge und 8 Linien innerem Durchmesser paßt ein hohler Eisenkern von $4\frac{1}{2}$ Zoll Länge, der sich willig in die Hülse schieben läßt. In die Höhlung dieses Eisenkerns, welche 4 Linien Durchmesser hat, läßt sich wiederum willig ein 4 Linien dicker massiver Eisenstab einschieben.

Wenn nun diese beiden Kerne in die horizontale Spirale eingeschoben sind, daß die Mitte des hohlen mit der Mitte der Spirale zusammenfällt, der innere solide aber an einem Ende ein wenig, etwa 1 Linie aus dem hohlen hervorragt, so wird der solide Eisenkern in dem Moment, in welchem durch die Spirale eine galvanische Batterie geschlossen wird, bis etwa zur Hälfte gewaltsam herausgestoßen (P. A. LXXIV. 240).

Dies beweist unwiderleglich, daß durch den Strom auch der innere Eisenkern, und zwar gleichnamig mit den hohlen magnetisirt wird.

Vertheilung des Magnetismus in Stahlmagneten und Elektromagneten. 202 Unter diesem Titel findet sich im LXX. Bande von Poggendorff's Annalen S. 1 eine Abhandlung von R. van Rees, deren Inhalt im Wesentlichen folgender ist: Es ist eine bekannte Thatsache, daß in der Mitte eines regelmäßig magnetisirten Stahlstabes kein freier Magnetismus nachzuweisen ist, daß aber die Stärke desselben mit entgegengesetzter Polarität nach den Enden hin zunimmt; wir wissen aber sehr wohl, daß dies nicht daher rührt, daß auf der einen Hälfte des Magnetstabes nur Nord-, auf der anderen nur Südmagnetismus vorhanden ist, sondern daß in jedem einzelnen Eisenpartikelchen eine Trennung der Polaritäten stattfindet, und daß man sich den magnetischen Zustand eines magnetisirten Stahlstabes ungefähr so vorzustellen hat, wie dies durch Fig. 168 versinnlicht wird.

Fig. 168.

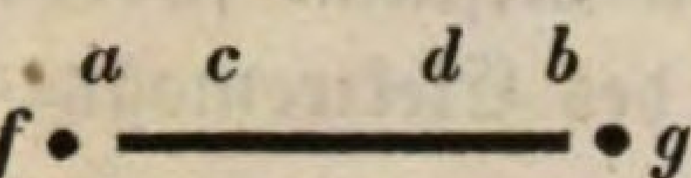


Van Ree's hat nun Be-

trachtungen darüber angestellt, ob wohl durch die ganze Länge des Magnetstabes hindurch die magnetische Polarität der einzelnen Partikelchen gleich stark, oder ob sie in der Mitte des Stabes oder an seinen Enden am stärksten entwickelt ist. In etwas veränderter Form ist seine Schlußweise folgende:

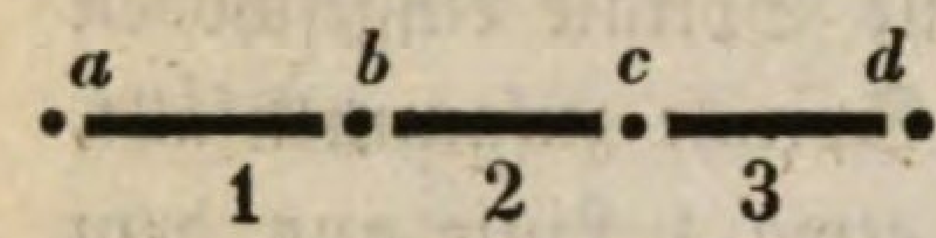
In Fig. 169 stelle *a b* ein magnetisches Partikelchen dar, so ist seine Wirkung in die Ferne dieselbe, als ob eine entsprechende Quantität Nord- und Südmagnetismus in zwei Punkten des Partikelchens vereinigt wäre, die zu beiden Seiten gleich viel von seiner Mitte abstehen.

Fig. 169.



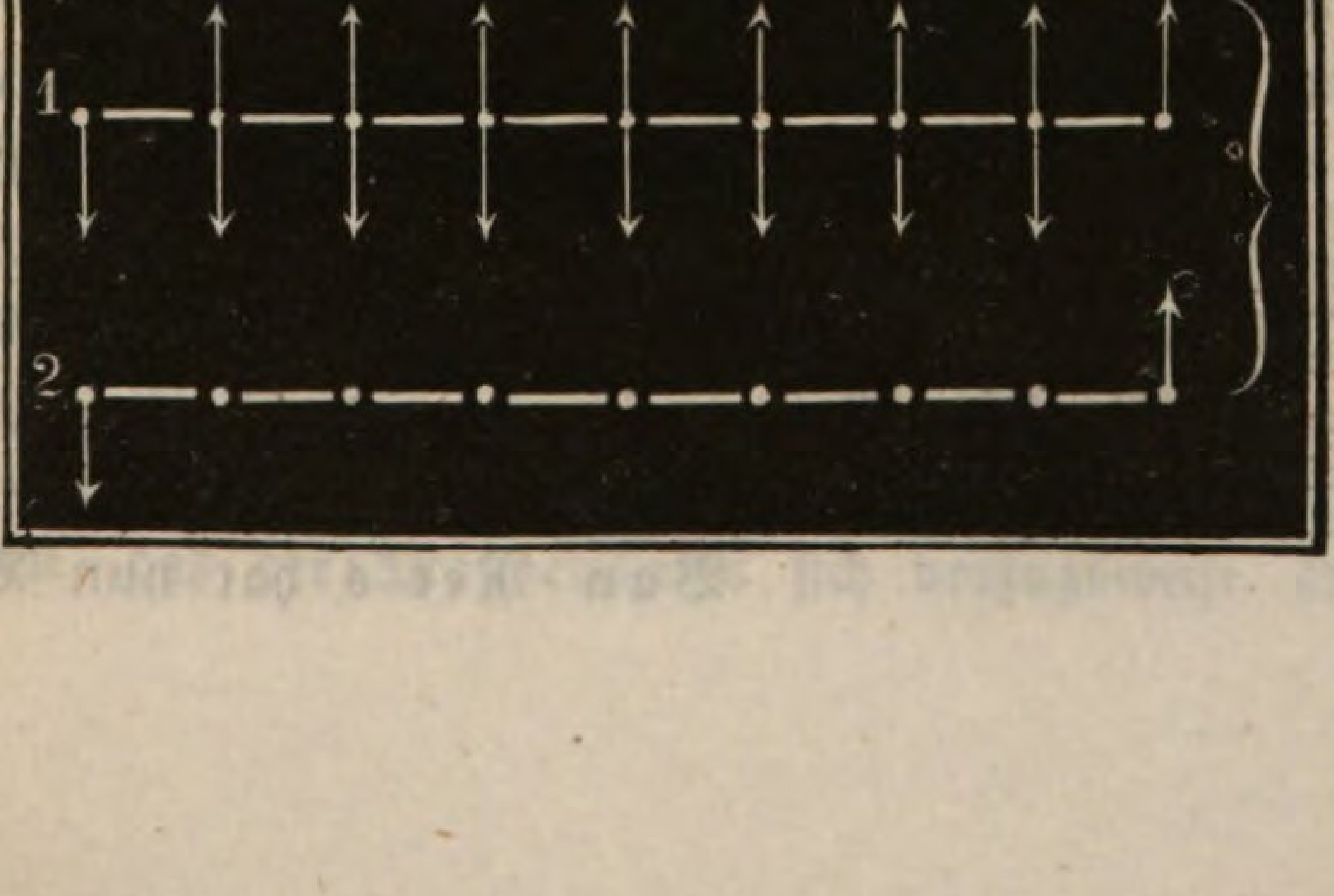
Diese Punkte können wir nach Belieben in *c* und *d*, oder an seinen Enden in *a* und *b*, oder endlich auch noch etwas über seine Enden hinaus in *f* und *g* annehmen, d. h. mit anderen Worten: eine bestimmte Quantität Nord- und Südmagnetismus in *f* und *g*, oder eine entsprechende Quantität in *a* und *b*, in *c* und *d*, würde in die Ferne dieselbe Wirkung wie das ganze Partikelchen selbst hervorbringen können. Sind nun 1, 2, 3 Fig. 170 eine Reihe magnetischer Partikelchen, so kann man die entsprechenden Mengen der magnetischen Fluida immer in den Punkten vereinigt denken, welche in der Mitte zwischen zwei Partikelchen liegen; es wären also gewissermaßen *a* und *b* die Pole von 1, *b* und *c* die von 2, *c* und *d* die von 3. In *a* wäre der Nordmagnetismus von 1, in *d* der Südmagnetismus von 3; in *b* fällt der Südmagnetismus von 1 und der Nordmagnetismus von 2 zusammen. Der Nordmagnetismus von 3 fällt mit dem Südmagnetismus von 2 auf den Punkt *c*.

Fig. 170.



Adoptiren wir diese Vorstellungsweise, so läßt sich leicht entwickeln, welche Erscheinungen ein Magnetstab hervorbringen muß, je nachdem alle seine Partikelchen gleich stark magnetisch sind, oder die Polarität der Partikelchen von der Mitte zu den Enden hin zu- oder abnimmt. Betrachten wir die drei Fälle näher.

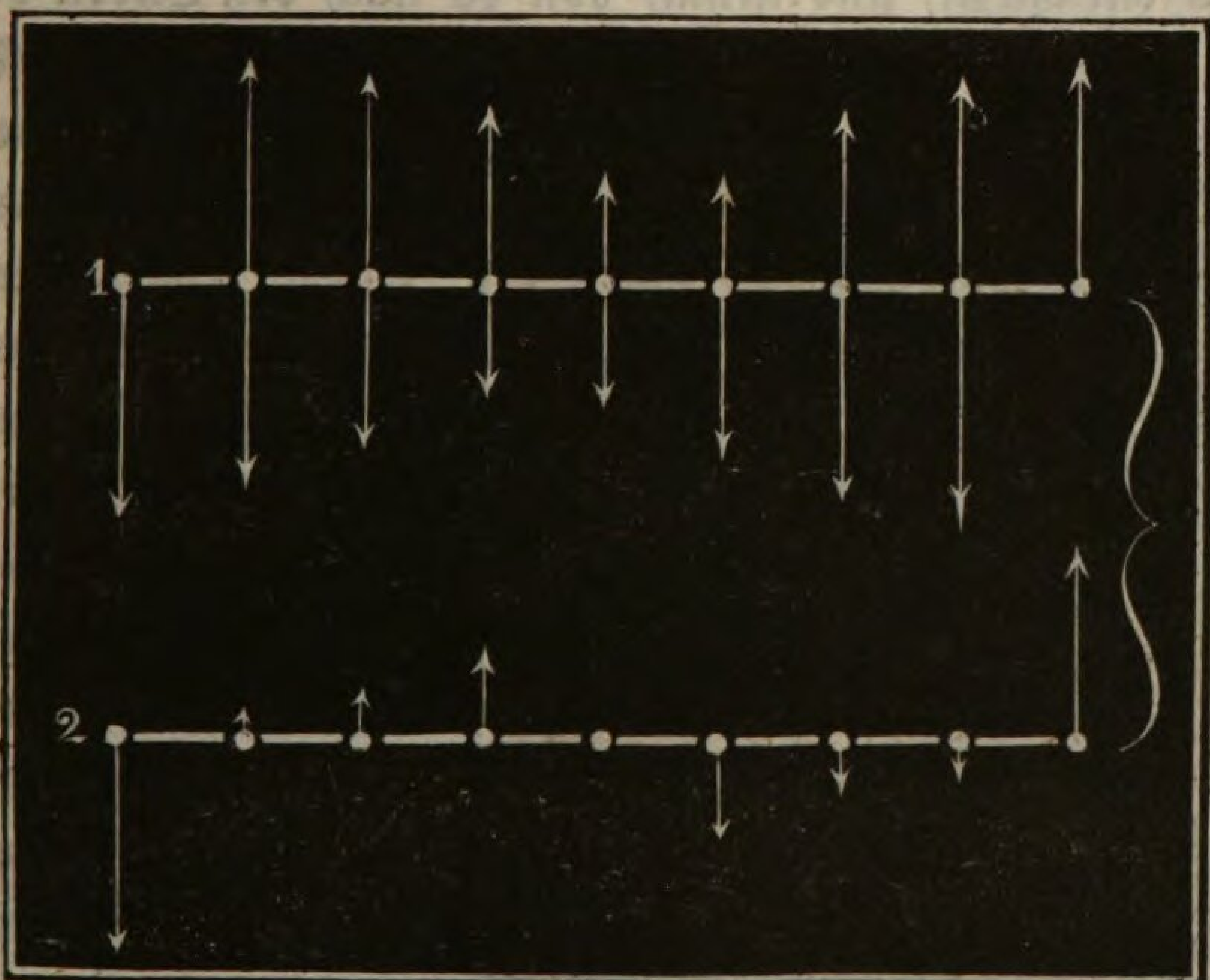
Fig. 171.



1) Die magnetische Polarität sey in allen Partikelchen der ganzen Länge des Stabes nach gleich stark entwickelt, so stellt uns 1. Fig. 171 den Zustand eines solchen Stabes dar,

wenn wir durch die aufwärts gerichteten Pfeilchen den Nord=, durch die abwärts gerichteten den Südmagnetismus darstellen. Da nun in jedem dieser Punkte gleich viel Nordmagnetismus (dem Theilchen links zugehörig) und gleichviel Südmagnetismus (dem Theilchen rechts zugehörig) zusammenfällt, so kann in allen diesen Punkten kein freier Magnetismus auftreten, und wenn wir nur den freien Magnetismus berücksichtigen, so stellt uns also 2 Fig. 171 den Zustand des Stabes vor. Freier Magnetismus zeigt sich nur an den Endflächen, im übrigen ist der ganzen Länge des Stabes nach kein freier Magnetismus mehr vorhanden. Ein solcher Magnet müßte also nach Außen gerade so wirken, als ob seine Endflächen allein magnetisch wären, und zwar die eine mit Nord= die andere mit Südmagnetismus beladen. Die Pole eines solchen Magneten würden also auch genau auf die Endflächen fallen. Man weiß, daß dies bei gewöhnlichen Magneten nicht stattfindet, daß bei diesen die Pole stets mehr nach Innen liegen. Dagegen ist die Wirkung einer elektromagnetischen Spirale gerade so, wie sie bei einem Magnete seyn würde, dessen einzelne Theilchen alle ein gleich starkes Moment haben. Vielleicht hängt damit zum Theil die von Poggendorff gemachte Beobachtung des verschiedenen Verhaltens hohler Magnetstäbe und galvanischer Schraubendrähte zusammen. Schiebt man vorsichtig eine etwa 9 Linien lange magnetische Nähnadel in die mit einer Glasröhre ausgefütterte Höhlung eines hohlen Magnetstabes, welcher aufrecht steht, und zwar so, daß Nadel und Stab die gleichnamigen Pole nach Oben gekehrt haben, so wird die Nadel nicht herabfallen, sondern zum Theil aus dem Magneten hervorragend, oben schweben.

Fig. 172.



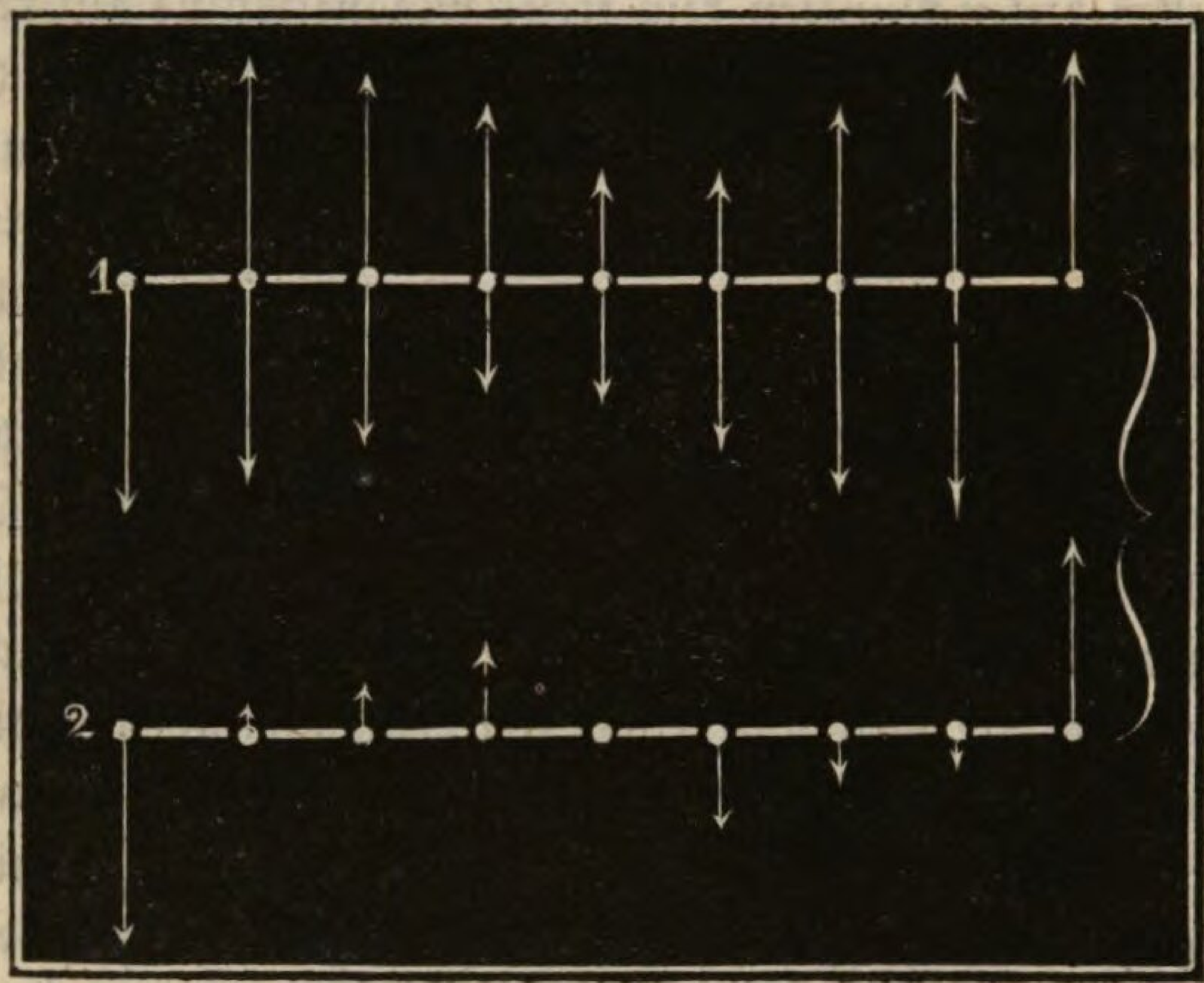
Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem galvanischem Schraubendraht aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Eine nähere Untersuchung dieser

Erscheinung behufs ihrer theoretischen Erläuterung wäre sehr zu wünschen.

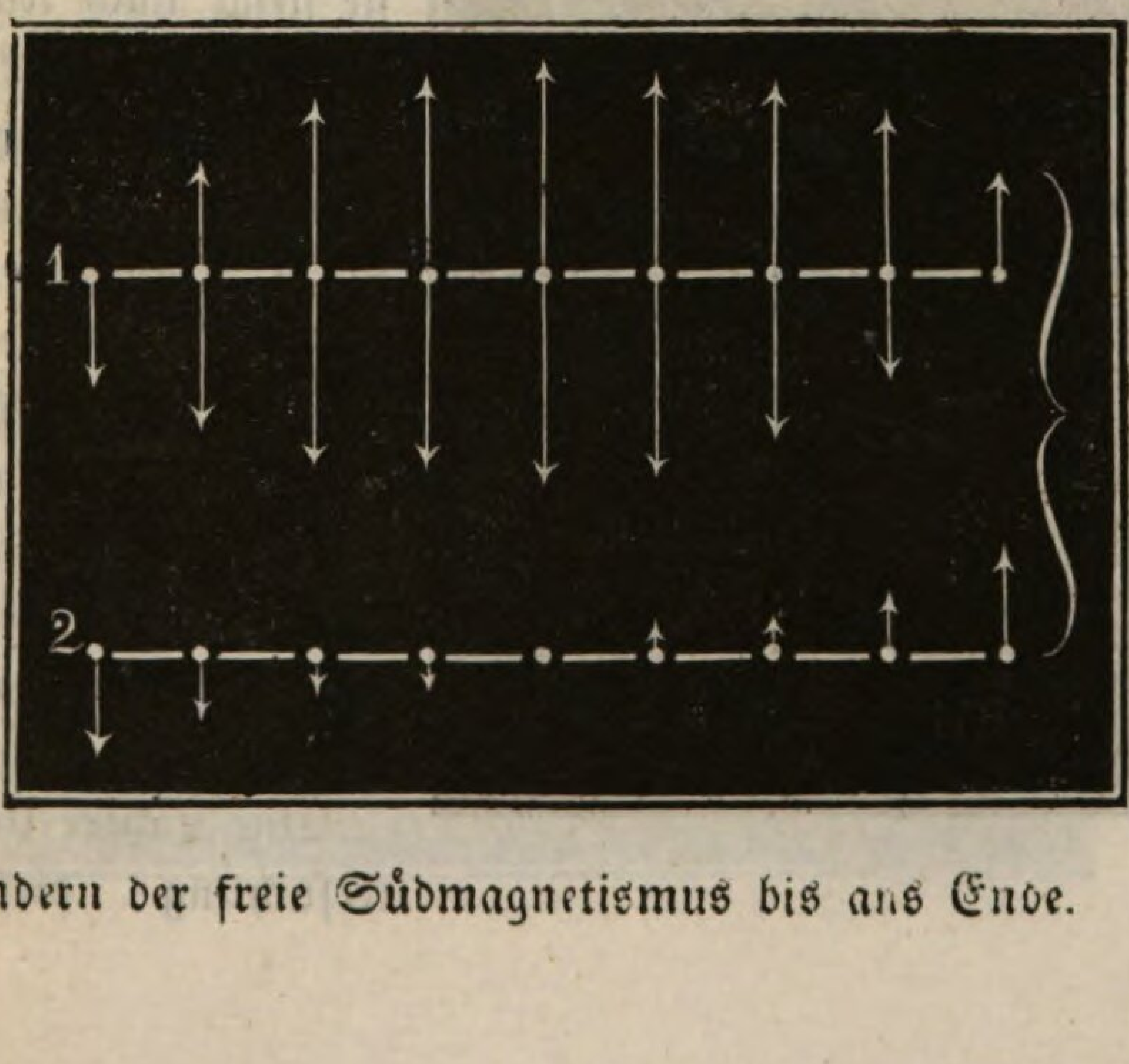
2) Wenn die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte am schwächsten entwickelt wäre und gegen die Enden hin zunähme, wie dies in 1 Fig. 173 versinnlicht ist, so würde sich eine Vertheilung des freien Magnetismus ergeben, wie sie in 2 Fig. 173 dargestellt ist. In der Mitte des Magneten würde der freie Magnetismus 0 seyn und von dort gegen die Enden anfangs zu- und dann wieder abnehmen, um in den entgegengesetzten Magnetismus überzugehen; auf der einen Hälfte des Stabes wäre also freier Nordmagnetismus, während die Endfläche südmagnetisch ist; die andere Hälfte mit freiem Südmagnetismus hätte ein nordmagnetisches Ende. Eine so sonderbare Vertheilung des freien Magnetismus findet bekanntlich bei normal magnetisirten Stahlstäben durchaus nicht Statt.

Fig. 173.



3) Nehmen wir an, die magnetische Polarität der Theilchen sey in der Mitte am stärksten entwickelt, und nehme von da nach den Enden hin ab, wie es 1 Fig. 174 versinnlicht, so ergiebt sich daraus eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie sie in 2 Fig. 174 dargestellt ist. In der Mitte ist der freie Magnetismus ebenfalls 0; von da wächst auf der einen Seite der freie Nordmagnetismus, auf der andern der freie Südmagnetismus bis ans Ende.

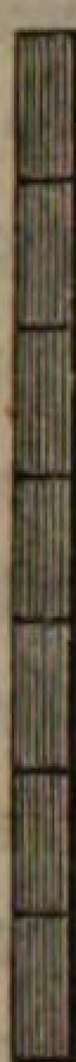
Fig. 174.



Da dies in der That die Art der Vertheilung des freien Magnetismus in normal magnetisirten Stahlstäben ist, so sind wir zu der Annahme berechtigt, daß in ihnen die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte stärker entwickelt ist, als gegen die Enden hin.

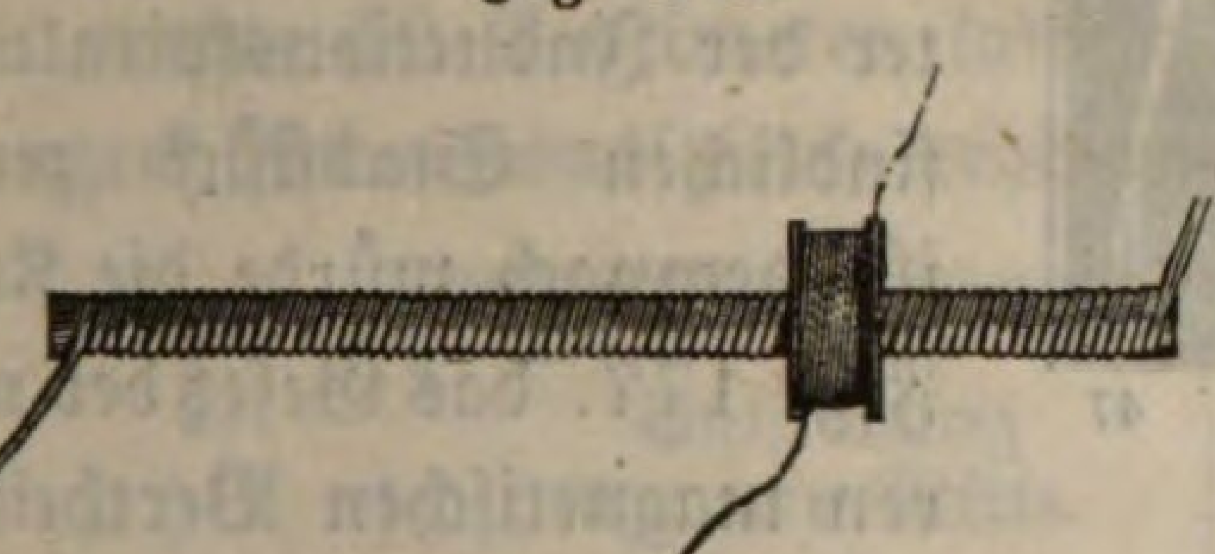
Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch die Thatsache, daß wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hinter einander legt, wie es Fig. 175 angedeutet ist, und sie dann so behandelt, wie einen einzigen langen Stahlstab, den man magnetisiren will, daß alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen einen um so stärkeren Magnetismus zeigen, je näher sie während des Streichens der Mitte lagen.

Fig. 175.



Auch in Elektromagneten findet diese Vertheilungsweise Statt, auch hier sind die magnetischen Polaritäten der einzelnen Theilchen in der Mitte des Stabes stärker entwickelt als an den Enden. Jakobi und Lenz haben dies auf experimentellem Wege nachgewiesen (P. A. LXI. 271.). Die Eisenstäbe wurden in eine Magnetisirungsspirale geschoben, welche nur durch eine Lage eines $\frac{3}{4}$ Linien dicken Kupferdrahtes gebildet war. Auf dieser Magnetisirungsspirale war nun eine 1 Zoll lange aus 123 Windungen eines dünnen Drahtes bestehende Inductionsspirale verschiebbar, wie es Fig. 176 angedeutet ist. Der durch die Unterbrechung des Magnetisirungsstromes in der kurzen Spirale hervorgerufene, größtentheils von dem verschwindenden Magnetismus des Eisenstabes herrührende Inductionsstrom zeigte sich am stärksten, wenn die Inductionsspirale sich in der Mitte zwischen den beiden Enden des Eisenstabes befand; er nahm um so mehr ab, je näher die Inductionsspirale dem Ende des Stabes war.

Fig. 176.



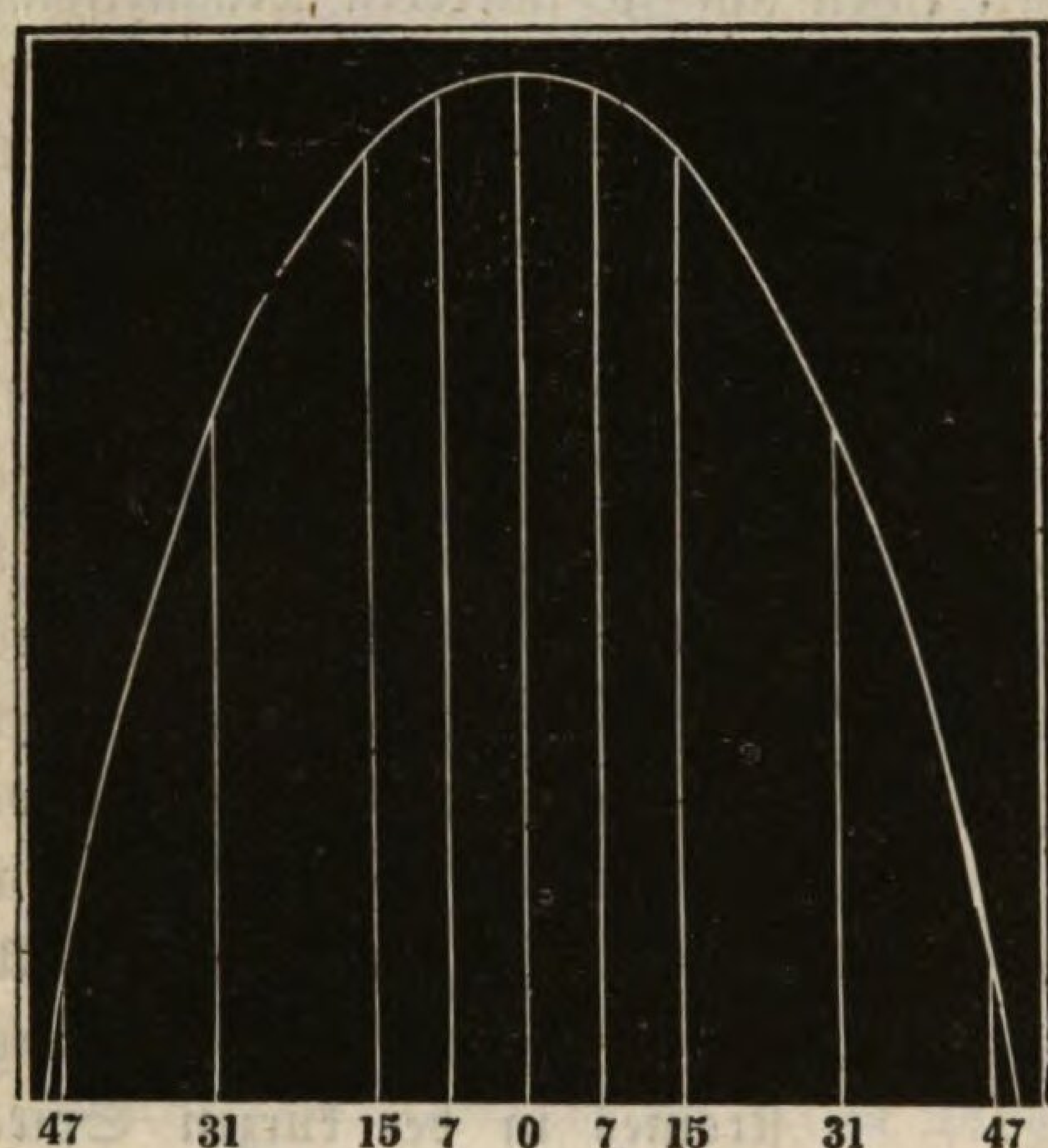
Auf diese Weise wurden Versuche mit vielen Eisenstäben von verschiedener Länge angestellt, die folgende Tabelle theilt als Beispiel die Resultate der Versuche mit den längsten dieser Stäbe (4′ lang) im Auszug mit.

Entfernung der Mitte der Inductionsspirale von der Mitte der Stange.	Halber beobachteter Ablenkungswinkel $\frac{1}{2}\alpha$.	$\sin. \frac{1}{2}\alpha$.
0	31° 48′	0,527
7	31 22	0,520
15	29 21	0,490
31	21 10	0,361
47	3 57	0,069

Die Einheit, nach welcher die Entfernungen in der ersten Columne gezählt sind, ist $\frac{1}{2}$ Zoll. Die Zahlen der zweiten Columne sind das Mittel aus zwei Beobachtungen, welche in gleichen Entfernungen von der Mitte auf der rechten und linken Seite angestellt wurden. Die Tabellen des Originals enthalten die Beobachtungen für die Entfernungen 1, 3, 5 u. s. w., kurz für alle ungeraden Werthe die Entfernung von der Mitte bis ans Ende.

Nach obiger Tabelle ist die graphische Darstellung, Fig. 177. entworfen, und zwar sind die Abscissen der Entfernung von der Mitte, die Ordonaten den entsprechenden Werthen von *sin.* $\frac{1}{2}\,\alpha$ proportional.

Fig. 177.



Lenz und Jakobi halten sich für berechtigt, anzunehmen, daß der gemessene Inductionsstrom proportional sey der ganzen Quantität des magnetischen Fluidums, welches in dem unmittelbar unter der Inductionsspirale befindlichen Stabstück zerlegt ist, demnach würde die Kurve Fig. 177. das Gesetz der wahren magnetischen Vertheilung in einem 4füßigen Magneten darstellen. Diese Kurve erscheint in der That nahe zu als eine Parabel, deren Gleichung

$$z = a - bx^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

ist, in welcher z die Stärke der magnetischen Vertheilung in einem Querschnitt des Eisenstabes bezeichnet, dessen Entfernung von der Mitte x ist. a und b sind Constante, welche für jeden Stab besonders bestimmt werden müssen.

Diese Formel stimmt für die mittleren Theile des Stabes ziemlich gut mit den Beobachtungen überein, gegen das Ende des Stabes aber werden die Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung zu groß, als daß man sie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern setzen könnte.

V. Rees hat das Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in einem Magnetstab aus den Beobachtungen abzuleiten gesucht, welche Coulomb über Vertheilung des freien Magnetismus in magnetisirten Stahldrähten angestellt hat, und ist auf diese Weise zu der Gleichung

$$z = a - b\,(m^{x} + m^{-x}), \quad . \; . \; . \; . \quad 2)$$

der Gleichung einer Kettenlinie gelangt, in welcher z und x dieselbe Bedeutung haben wie in Gleichung 1) Seite 524, a, b und m aber drei Constante sind, die für jeden Magnetstab besonders bestimmt werden müssen.

Van Rees hat nun gezeigt, daß auch für elektromagnetische Eisenstäbe die Kettenlinie das Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus weit treuer darstelle, als die Parabel, und die von Lenz und Jakobi angestellten Beobachtungen weit besser mit Gleichung 2) als mit Gleichung 1) übereinstimmen.

Auch für Stahlmagnete wurde von V. Rees die Induction angewandt, um das Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus experimentell zu bestimmen. Da man aber den Magnetismus eines Stahlmagneten nicht plötzlich vernichten kann, wie beim Elektromagneten, so muß die Induction durch Bewegen der Inductionsspirale hervorgebracht werden. V. Rees verfuhr so, daß er die Inductionsspirale, von der Mitte des Magnetstabes, so wie von verschiedenen andern Stellen ausgehend, über das nächste Ende des Stabes schnell abstreifte; und die entsprechende Ablenkung eines in den Schließungsbogen der Inductionsspirale eingeschalteten Multiplicators beobachtete; die folgende Tabelle giebt die Resultate, welche er mit einem 50 Centimeter langen Magnetstabe und einer 20 Millimeter langen Inductionsspirale erhielt.

Entfernung von der Mitte.	Ablenkung der Nadel.
0	46° 38′
4	45 56
8	44 19
16	37 24
30	9 30

Aehnliche Versuchsreihen hat er noch mit anderen Magnetstäben angestellt.

Bezeichnet man die Entfernung der Mitte der Inductionsspirale von der Mitte des Stabes, unmittelbar vor den Beginn des Abstreifens mit x, den Sinus des entsprechenden halben Ablenkungswinkels mit z, so passen die zusammengehörigen Werthe von x und z recht gut in die Gleichung 2). V. Rees nimmt nun an, daß der Sinus des Ablenkungswinkels ein Maaß sey für das magnetische Moment derjenigen Stelle des Magnetstabes, welche von der Spirale bedeckt wurde, als man dieselbe abzustreifen begann. Eine Rechtfertigung dieser Ansicht hat V. Rees

nicht für nöthig gehalten, mir aber scheint ihre Zulässigkeit noch sehr zweifelhaft, denn auf die Stärke des Inductionsstromes wirken alle Stellen des Stabes, über welche die Spirale hingeschoben, nicht bloß die, von welchen aus sie weggezogen wird. Ebenso halte ich es nicht für erwiesen, daß bei den Versuchen der Petersburger Physiker der Inductionsstrom lediglich von der bedeckten Stelle der Spirale herrührt; sie führen zwar zur Begründung ihrer Ansicht die Thatsache an, daß die Spirale, nur etwas über das Ende des elektromagnetischen Eisenstabes hinausgeschoben, kaum einen merklichen Inductionsstrom zeigt; wenn aber auch das schwach magnetische Stabende in der ihm nahe gehaltenen Spirale nur einen sehr schwachen Strom erzeugt, so folgt daraus noch keineswegs, daß man den Einfluß der benachbarten Schichten auch dann vernachlässigen dürfe, wenn die Spirale wirklich auf den Stab aufgeschoben ist, einmal, weil man es hier mit stärker magnetischen Schichten zu thun hat, als am Stabende, und dann, weil die Wirkungen der benachbarten Schichten auf der einen und der andern Seite sich unterstützen. Es ist demnach allerdings noch zweifelhaft, ob die Methode der Inductionsströme, wie sie Lenz und Jakobi, oder wie sie V. Rees anwandte, unmittelbar zum Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in Elektromagneten oder in Stahlmagneten führen kann.

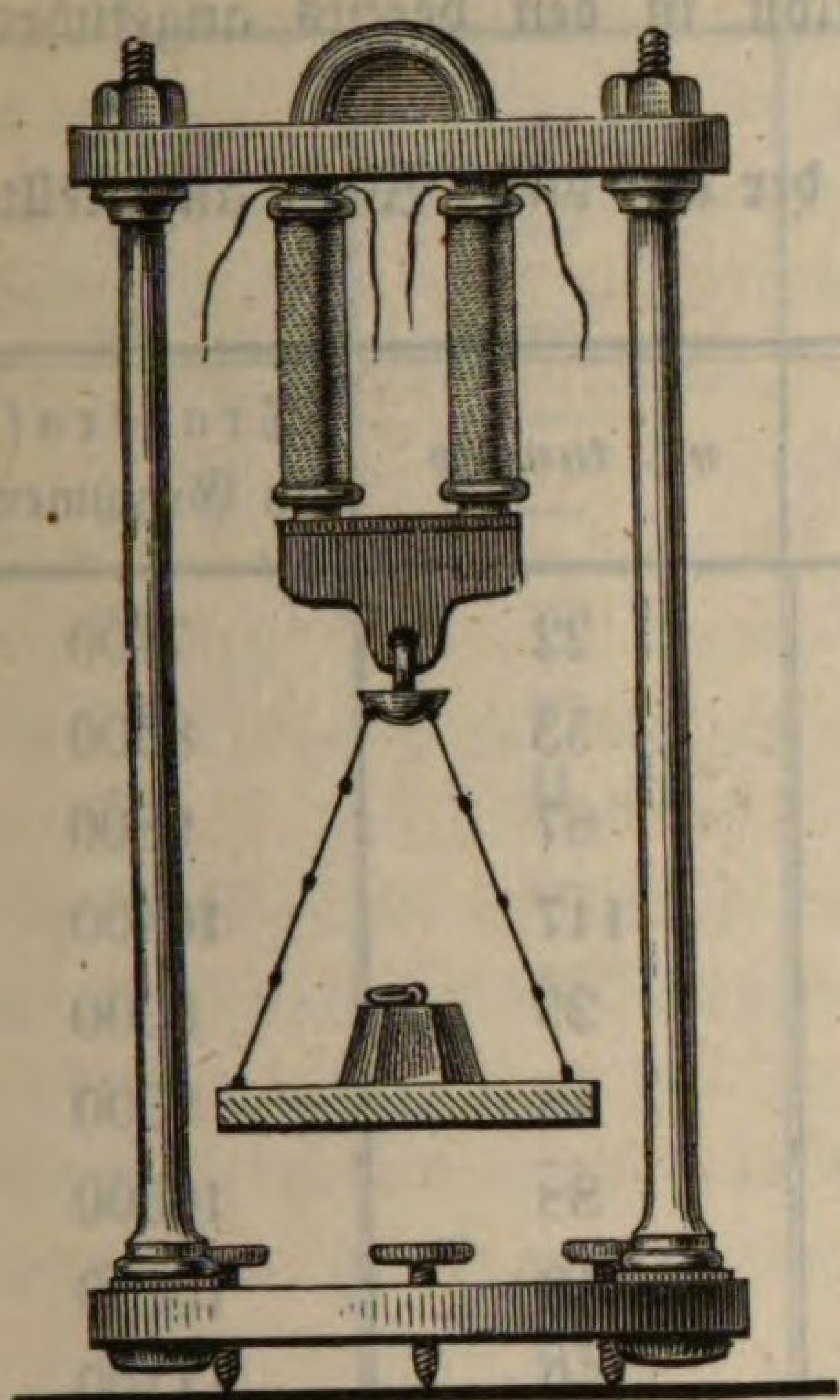
Meine oben, in Paragraph 194 angeführten Versuche scheinen ebenfalls darauf hinzudeuten, daß in einem elektromagnetischen Stabe der Magnetismus keineswegs der ganzen Länge nach gleichförmig entwickelt ist; wäre dies der Fall, so müßte der Factor b der Stablänge proportional sein, während ich ihn für den längeren Stab verhältnißmäßig kleiner gefunden habe. Höchst wahrscheinlich würden solche Versuche, mit Stäben und Spiralen von sehr verschiedener Länge ausgeführt, Anhaltspunkte liefern, um auf das Gesetz der wahren magnetischen Vertheilung in Elektromagneten einen Schluß zu ziehen.

203 **Neue Versuche über die Tragkraft der Elektromagnete.** Nachdem meine Untersuchungen über das magnetische Moment von Elektromagneten zur Ermittelung wichtiger Gesetze geführt hatte, sah ich mich veranlaßt auch über die Tragkraft der Elektromagnete neue Versuche anzustellen.

Da die Mittel unserer Anstalt es nicht erlaubten, zur Messung der Tragkraft von Elektromagneten so genau gearbeite Hebelapparate anzuwenden, wie sie von Lenz und Jakobi sowohl als auch von Pfaff benutzt und in den bereits citirten entsprechenden Abhandlungen beschrieben wurden, so beschränkte ich meine Versuche auf kleinere hufeisenförmige Elektromagnete, bei welchen ein directes Anhängen der Last noch

wohl thunlich war. Der Apparat, welchen ich anwandte und welcher auch für Vorlesungsversuche ganz zweckmäßig sein dürfte, ist Fig. 178 abgebildet.

Fig. 178.



In einem runden oder ovalen Brette, welches mit drei Stellschrauben versehen ist, sind zwei eiserne Säulchen befestigt, welche Oben ein Querstück von Holz tragen; durch zwei Löcher desselben ist das Uförmige weiche Eisen gesteckt, und in seiner Mitte noch durch ein halbkreisförmiges Holzklötzchen getragen.

Die Versuche erstrecken sich auf sechs Hufeisen; drei davon, I., II. und III. hatten einen Durchmesser von 10 Millimeter, während die drei folgenden IV., V. und VI. nur 6,5 Millimeter Durchmesser hatten. Die unter dem Tragbrettchen hervorragenden Schenkel hatten folgende Längen:

I. und IV.	. . .	16,5 Centimeter
II. und V.	. . .	8,5 »
III. und VI.	. . .	5 »

Auf diese Schenkel wurden nun die Magnetisirungsspiralen aufgeschoben; sie waren auf Hülsen von Holz gewickelt, die einen inneren Durchmesser von 12^{mm} hatten; sie wurden mit Hülfe von Korken auf den dünneren Eisen befestigt. Solcher Spiralen wurden 4 Paar in Anwendung gebracht, welche folgende Einrichtung hatten.

I.	bestand	aus	2 Lagen,	jede	von	123 Windungen,	Länge	14 Centimeter.
II.	»	»	4 »	»	»	57 »	»	6,8 »
III.	»	»	2 »	»	»	51 »	»	6,8 »
IV.	»	»	2 »	»	»	24 »	»	3 »

Außer den Magnetisirungsspiralen war natürlich auch noch die Tangentenbussole in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet.

Der Anker war ähnlich geformt, wie bei den Logeman'schen Magneten, über das Tragbrett hingen Schnüre herab, welche den Anker gleich nach den Abreißen auffangen mußten. Die Wagschale war von einer kleiner Brückenwage genommen. Anker und Wagschale zusammen hatten ein Gewicht von 375 Gramm.

Unter dem Brette der Wagschale war ein Holzklotz angebracht, so daß beim Abreißen des Ankers die Wagschale aufgefangen wurde, und zwar noch um etwas früher, als der Anker selbst in den bereits angeführten Schnüren.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate der auf diese Weise angestellten Versuche.

Eisen.	Spirale.	*v*	*n . tang. v*	Tragkraft in Grammen.
I.	I.	2,5	22	7100
—	—	6,1	53	8500
—	—	10,1	87	9800
—	—	13,4	117	10400
—	II.	3,6	29	8300
—	—	6°	48	9300
—	—	11°	85	10500
—	—	14,5	118	10700
—	—	18,2	150	11100
—	III.	2°	7	3900
—	—	4,4	16	6500
—	—	6	21	7500
—	—	11,75	43	9000
—	—	13	47	9600
—	—	15	54	10000
—	IV.	2,75	5	1900
—	—	3,75	6	3600
—	—	6,25	10	5300
—	—	17,1	29	7900
—	—	18°	31	8400
II.	II.	3,5	28	7400
—	—	6,25	50	9100
—	—	11,5	93	9700
—	—	15	120	10400
—	III.	3,75	13	4600
—	—	5,75	21	5700
—	—	9,25	33	7200
—	—	17	61	8300
III.	IV.	4,5	8	3100
—	—	13°	22	7400
—	—	20	26	8400

Eisen.	Spirale.	n	n . $tang\ v$	Tragkraft in Grammen.
IV.	I.	2,5	22	2300
—	—	4,1	35	3100
—	—	5,5	47	3700
—	—	6,4	54	4000
—	—	9,5	72	4600
—	—	14	122	5200
—	—	19	169	5400
—	II.	2	16	2000
—	—	3,25	26	3000
—	—	6	48	4000
—	—	8,75	70	4600
—	—	13,5	109	5300
—	—	18,5	152	5500
—	III.	7	25	2400
—	—	11,25	41	3800
—	—	15,25	56	4500
—	—	21	78	5000
V.	II.	3,75	30	3200
—	—	7,5	60	4700
—	—	10	80	5100
—	—	13,5	109	5400
—	III.	10,4	37	3900
—	—	13,25	48	4400
—	—	17,75	65	4900
—	IV.	4,5	8	1100
—	—	12	20	2900
—	—	14,5	25	3300
—	—	19	33	3700
VI.	—	4	7	1300
—	—	12	20	3400
—	—	19	33	3700

Die dritte Columne dieser Tabelle enthält unter v die an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel, die vierte aber enthält das Product der trigonometrischen Tangente der Ablenkungswinkel mit der Anzahl der Windungen, in welchen der Strom um das Eisen herumgeführt ist; die Spirale Nr. I. z. B. hat 2 Lagen von 123 Windungen, also zusammen 246 Windungen. Nun aber steckt an jedem Schenkel des Eisens eine solche Spirale, folglich ist n in diesem Falle 492. Für die Spirale II. ist $n = 456$; für III. ist $n = 204$, für IV. ist $n = 96$.

Wir können das Product n *tang.* v füglich mit dem Namen der magnetisirenden Kraft bezeichnen.

Für die dicken und dünneren Elektromagnete wurde derselbe Anker angewandt.

Die letzte Columne enthält die Angabe des Gewichtes (Gewicht des Ankers der Wagschale und des auf dieselbe gelegten Gewichtes) in Grammen ausgedrückt, bei welchem der Anker abriß.

Ein oberflächlicher Blick auf diese Tabelle zeigt schon, daß die Tragkraft auch nicht entfernt dem Quadrat der magnetisirenden Kraft proportional ist.

204 **Einfluß der Länge des Eisens und der Spiralen auf die Tragkraft.** Betrachten wir die Versuche, welche mit dem Eisen Nr. I, also dem längsten unter den drei dickern Eisen angestellt wurden, so sehen wir, daß bei gleicher magnetisirenden Kraft nahe zu dieselbe Tragkraft erzielt wird, mag man nun eine längere oder kürzere Spirale anwenden, was noch deutlicher hervortritt, wenn man diese Tabelle graphisch vorzeichnet. Die kürzeste aller Spiralen Nr. IV. giebt für die magnetisirende Kraft 6 die Tragkraft 3600, während mit der doppelt so langen Spirale Nr. III. die Tragkraft 3900 mit der magnetisirenden Kraft 7 erhalten wird. — Für die magnetisirende Kraft 29 erhält man nahe zu gleiche Tragkräfte mit der IV. und II. Spirale. — Die längste Spirale scheint verhältnißmäßig die geringste Wirkung zu geben, denn während bei der dritten Spirale den magnetisirenden Kräften 21 und 54 die Tragkräfte 7500 und 10000 entsprechen, finden wir für die lange Spirale für die magnetisirenden Kräfte 22 und 53 nur die Tragkräfte 7100 und 8500; übrigens mögte das Zurückbleiben in der Wirkung der langen Spirale gegen die übrigen in den Beobachtungsfehlern seinen Grund haben, zu welcher Annahme wir um so mehr berechtigt sind, als sich bei den Beobachtungsreihen mit dem längeren dünnen Eisen Nr. IV. die lange Spirale Nr. I. ebenso wirksam zeigt als die andern, und ferner, weil auch die Spiralen Nr. II. und III. in ihrer Wirkung keineswegs gegen die der kürzesten Nr. IV. zurückbleiben. Unsere Versuchsreihen rechtfertigen also den Schluß:

Wenn um ein Uförmig gebogenes Eisen ein galvanischer Strom in einer bestimmten Anzahl von Windungen herumgeführt wird, so erlangt es dieselbe Tragkraft, mögen nun diese Windungen die ganze Länge der Schenkel bedecken, oder nur über einen Theil der Schenkel in mehreren Lagen übereinander liegen.

So haben die Spiralen I. und II. fast gleich viel Windungen, welche bei I. eine lange Spirale mit zwei Lagen, bei II. eine kürzere mit 4 Lagen bilden; im Effect sind sich beide Spiralen gleich.

Auch ist es ziemlich gleichgültig, an welcher Stelle der Schenkel die Spiralen angebracht sind. Das Eisen Nr. I. erhielt durch die kurze Spirale Nr. IV. bei gleicher Stromstärke fast genau dieselbe Tragkraft, mogte nun die Spirale ganz unten bei den Polen sich befinden, oder möglichst weit hinauf bis an das Tragbrett geschoben seyn.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Länge der Schenkel des Eisens auf die Tragkraft ausübt. — Die gleich dicken aber ungleich langen Eisen, Nr. IV., V. und VI. zeigen bei gleicher magnetisirender Kraft nahezu gleiche Tragkraft; bei den dickeren Eisen sehen wir freilich II. gegen I. zurückbleiben, da aber das kürzeste der dickeren Eisen Nr. III. kein solches Zurückbleiben gegen Nr. I, zeigt, so dürfen wir die geringere Wirkung des Eisens Nr. II. wohl zufälligen Umständen zuschreiben; lassen wir aber die mit dem Eisen Nr. II. angestellten Versuche unberücksichtigt, so führen uns alle übrigen Versuche zu dem Schluß:

Die Länge der Schenkel eines Elektromagneten hat unter übrigens gleichen Umständen keinen Einfluß auf die Tragkraft desselben.

Die längern Schenkel gewähren nur insofern einen Vortheil, als sie mehr Drahtwindungen aufnehmen können.

Beziehung der Tragkraft zu den übrigen Gesetzen des Elektro- 205
magnetismus. Nachdem die obigen Versuche einige Anhaltspunkte zur Ermittelung der Gesetze der Tragkräfte geliefert hatten, lag es nun nahe, sie mit dem durch die Gleichung auf Seite 507 gegebenen Gesetz des elektromagnetischen Momentes von Eisenstäben zu vergleichen. — Während in jener Gleichung die Factoren a und b noch von der Länge der Elektromagnete abhängen, werden in einer entsprechenden Gleichung für die Tragkräfte diese Factoren von den Längendimensionen unabhängig seyn, wie dies aus den Beobachtungen des vorigen Paragraphen hervorgeht.

Lenz und Jakobi nahmen an, daß die Tragkraft der Elektromagnete dem Quadrat des erregten Magnetismus proportional seyn müsse, und diese Annahme ist auch ohne allen Zweifel richtig, nur ist die Stärke des Mag-

netismus nicht der Stromstärke proportional, wie dies jetzt genügend dargethan ist. Ist aber die Tragkraft t dem Quadrat des im Eisen erregten Magnetismus m proportional, so können wir in unsre Gleichung $\sqrt{t}$ statt m setzen, und erhalten so die Gleichung

$$s = a\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{\sqrt{t}}{b\, d^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1),$$

welche die Beziehung zwischen Stromstärke und Tragkraft der Elektromagnete darstellt. Es ist nun zu untersuchen, in wiefern unsere Versuche über Tragkraft mit dieser Formel harmoniren. Setzen wir $a = 0{,}603$, $b = 0{,}02035$, so wird für die dünneren Hufeisen die Gleichung

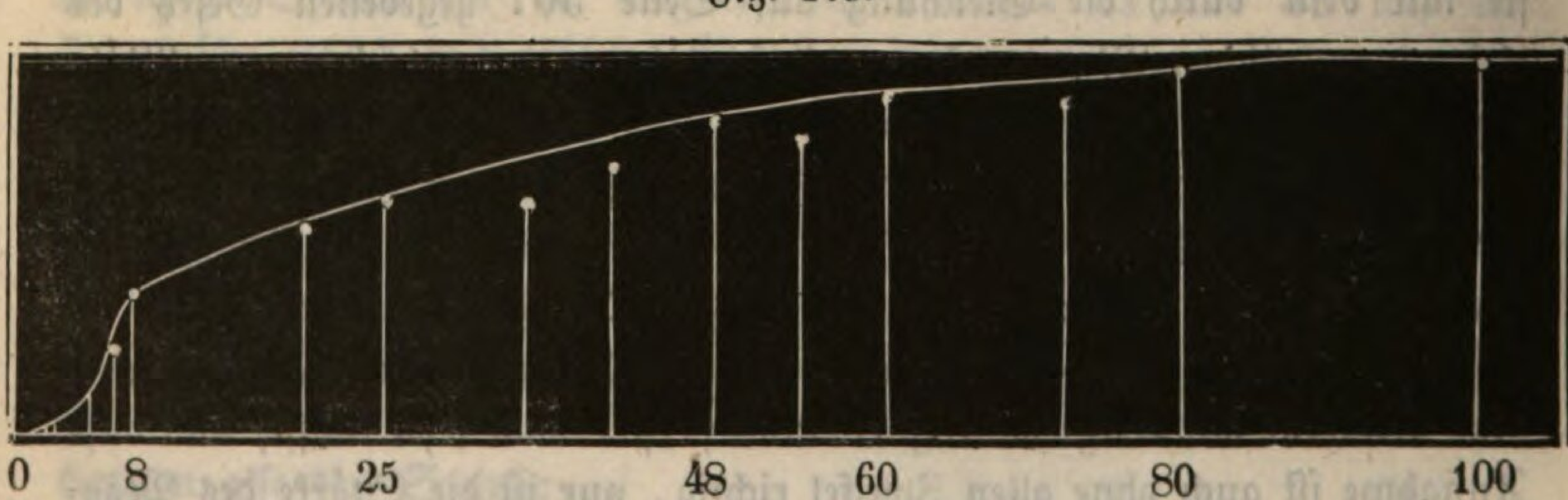
$$s = 10\, .\, tang.\, \frac{\sqrt{t}}{0{,}86} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2);$$

setzen wir für s die magnetisirende Kraft, d. h. die Stromstärke multiplicirt mit der Anzahl der Windungen der Spirale, so ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von s und t, denen zur Vergleichung die beobachteten Werthe von t beigesetzt sind.

s	t		
	berechnet.	beobachtet.	Differenz.
2	94 Gr.	—	—
5	529	—	—
8	1109	1100	9
25	3434	3300	134
48	4529	4400	129
60	4761	4700	61
100	5256	—	—
152	5506	5500	6

Nach dieser Gleichung ist denn auch die Kurve Fig. 179 construirt; als

Fig. 179.



Abscissen sind die Werthe von s, als Ordinaten die berechneten Werthe von t aufgetragen, um leichter übersehen zu können, in wiefern sich die Gleichung der Beobachtung anschmiegt, ist auch eine Reihe beobachteter Werthe von t in derselben Figur aufgetragen und durch Punkte bezeichnet worden. — Die Constanten unserer Gleichung, 10 und 0,86 sind absichtlich so gewählt, daß die Curve nicht etwa mitten durch die beobachteten Punkte hindurchgeht, sondern über die höchsten hinweggeführt wird, weil begreiflicherweise diejenigen Beobachtungen als die besten anzusehen sind, welche relativ die größten Tragkräfte liefern. Wie man sieht, schließt sich die Curve diesen relativ größten beobachteten Tragkräften recht gut an.

Für die dickeren Stäbe paßt die Gleichung

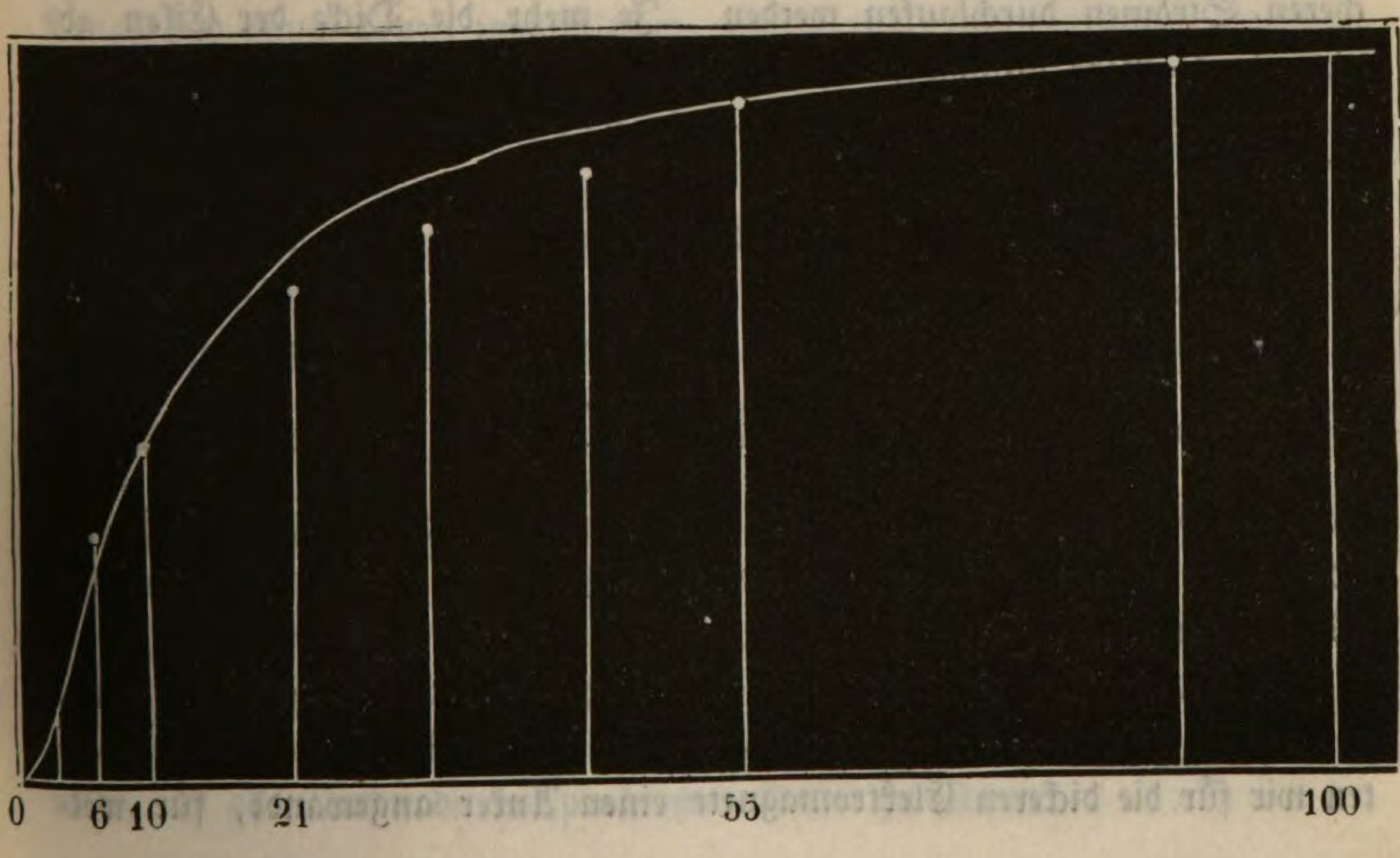
$$s = 5{,}5 \ tang. \frac{\sqrt{t}}{1{,}2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3).$$

In der folgenden Tabelle sind einige nach dieser Gleichung berechnete Werthe von t mit den beobachteten zusammengestellt.

s	t	
	berechnet.	beobachtet.
6	3249	3600
21	8154	7500
54	10201	10000
118	10983	10700
150	11130	11100

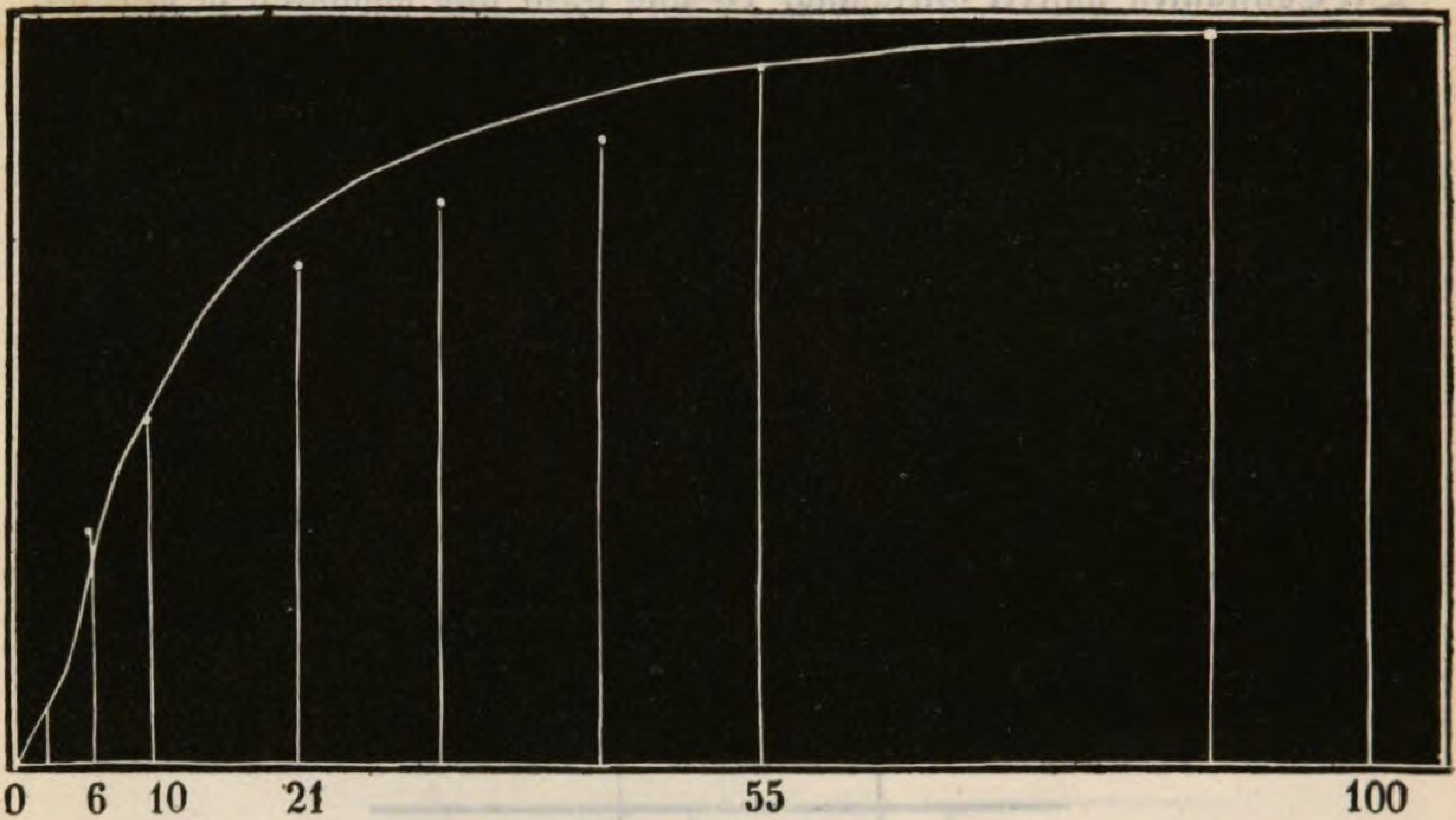
Die Curve, Fig. 180 ist nach der Gleichung 3 in demselben Maßstab

Fig. 180.



construirt, wie Fig. 179. Zur Vergleichung sind auch einige beobachtete Punkte aufgetragen. Die Constanten der Gleichung 3 hätten sich wohl so bestimmen lassen, daß sich die Curve noch etwas besser den Beobachtungen

Fig. 181.



anschlösse, da jedoch die Gleichung nur eine ganz specielle Bedeutung hat, so mag diese Annäherung wohl genügen.

Es ergiebt sich nun aus diesen Versuchen unzweifelhaft, daß die Tragkräfte der Elektromagnete keineswegs immer dem Quadrate der Stromstärke proportional sind. Diese Proportionalität wird sich nun da finden, wo ein dickes Eisen mit wenig Windungen umgeben ist, welche von schwächeren Strömen durchlaufen werden. Je mehr die Dicke der Eisen abnimmt, je mehr Windungen die Magnetisirungsspirale hat und je stärker die angewandten Ströme sind, desto mehr wird man sich von diesem quadratischen Verhältnisse entfernen.

Unsere Versuche zeigen ferner, daß jedem Elektromagnet ein (wie wir sogleich sehen werden, mit der Natur des Ankers veränderliches) Maximum der Tragkraft zukommt. Bezeichnen wir dieses Maximum mit t', so muß für die dünneren Elektromagnete $\frac{\sqrt{t'}}{0,86}$ und für die dickeren $\frac{\sqrt{t'}}{1,2}$ gleich 90 seyn, daraus ergiebt sich als Maximum der Tragkraft für die dickeren der obigen Elektromagnete 11664 Gramme, für die dünneren aber 5991 Gramme.

Die Tragkraft der Elektromagnete hängt, wie wir dies schon oben, Seite 490 gesehen haben, wesentlich von der Gestalt des Ankers ab. Hätten wir für die dickeren Elektromagnete einen Anker angewandt, für wel-

chen zwischen der Tragkraft und dem im Elektromagneten erregten Magnetismus das gleiche Verhältniß stattgefunden hätte, wie bei den dünnern, so müßte man die Tragkräfte der Elektromagnete I., II. und III. nach der Gleichung 1 berechnen können, wenn man für die Constanten a und b diejenigen Werthe setzt, wie sie sich aus den mit dem Elektromagneten IV, V und VI. angestellten Versuchen ergeben, nämlich $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$. Die Beziehung zwischen Stromstärke und Tragkraft wäre alsdann für die 10^{mm} dicken Elektromagnete

$$s = 19 \; tang. \frac{\sqrt{t}}{2{,}035} \; . \; . \; . \; . \quad 4).$$

Wie sehr aber die nach Gleichung 4 berechneten Tragkräfte den nach Gleichung 3 berechneten differiren, ergiebt sich aus folgender Zusammenstellung:

s	t berechnet nach 3	t berechnet nach 4
21	8154	9127
54	10201	19881
118	10983	25921
150	11130	27225

man sieht also, wie weit die an den dickeren Elektromagneten beobachteten Tragkräfte hinter denen zurückbleiben, welche man nach den mit den dünneren angestellten Versuchen hätte erwarten sollen. Man begreift dies Zurückbleiben aber sehr gut, wenn man bedenkt, daß derselbe Anker für die dickeren und die dünneren Elektromagnete gebraucht wurde, und daß also derselbe für die dickeren Elektromagnete verhältnißmäßig klein war. —

Nach Gleichung 4 würde das Maximum der Tragkraft für die 10^{mm} dicken Elektromagnete 33489 Gramme seyn. Da für das Maximum der Tragkraft

$$\frac{\sqrt{t}}{b\, d^2} = 90,$$

so ist also

$$t = 90^2 \, . \, b^2 \, . \, d^4,$$

d. h. das Maximum der Tragkraft würde also im Verhältniß der vierten Potenz des Durchmessers der Elektromagneten wachsen, wenn es möglich wäre, für alle Dicken die entsprechenden Anker zu finden.

Ein Elektromagnet unsers physikalischen Cabinets hat einen Durchmesser von 35mm; jeder der Schenkel ist mit 480 Windungen umgeben. Wenden wir auf diesen Elektromagneten die Gleichung 1 mit den Constanten $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$ an, welche aus den Versuchen abgeleitet sind, die mit den 6,5mm dicken Elektromagneten angestellt werden, so erhalten wir für diesen großen Elektromagneten die Gleichung

$$s = 124 \cdot tang. \frac{\sqrt{t}}{24},$$

wo für s die Tangente des an der Tangentenbussole durch den Strom hervorgebrachten Ablenkungswinkels, multiplicirt mit 960 (der Anzahl der Spiralwindungen um beide Pole), zu setzen ist.

Dieser Gleichung nach wäre das Maximum der Tragkraft für diesen Elektromagneten 4666 Kilogramme, also über 9000 Pfund.

Einem Strom, für welchen $v = 2{,}6^0$ (welcher $2{,}6^0$ Ablenkung an der Tangentenbussole hervorbringt), entspricht nach dieser Gleichung eine Tragkraft von 214 Kilogrammen; der Versuch ergab nur 86 Kilogramme.

Bei einem Strom, für welchen $v = 5{,}5^0$, wurde die Tragkraft gleich 125 Kilogrammen gefunden, während sie nach jener Gleichung 767 Kilogrammen seyn sollte.

Die Tragkraft des Elektromagneten ist keine so einfache Function der Stromstärke wie das magnetische Moment, aus dem sehr begreiflichen Grunde, weil die Tragkraft nicht allein von dem im Elektromagneten erregten Magnetismus, sondern auch von der Natur des Ankers abhängt; der Einfluß des Ankers ist aber noch keineswegs genügend studirt, um demselben bei Construction der Formeln Rechnung tragen zu können.

Wenn die Elektromagnete durch Vergrößerung des Querschnitts im Stande sind, gleichsam eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, so kann ihre Tragkraft nur dann in einer dem vermehrten Magnetismus entsprechenden Weise zunehmen, wenn auch im Anker eine gleiche Vermehrung des freien Magnetismus stattfinden kann, d. h. wenn der Querschnitt des Ankers und der Berührungsfläche in gleichem Verhältnisse wächst, wie der Querschnitt des Elektromagneten.

Während nun auf der einen Seite die Vergrößerung des Querschnitts des Ankers denselben befähigt, eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, wird auf der andern Seite durch Vergrößerung der Berührungsfläche die Vollkommenheit der Berührung beeinträchtigt, und so kommt es denn, daß die Tragkraft größerer Elektromagnete weit hinter dem zurückbleibt, was man nach den Versuchen hätte erwarten sollen, die mit kleinen Elektromagneten angestellt wurden.

Man sieht aus alle dem, daß, wenn es nur darauf ankommt, Elektro-

magnete von großer Tragkraft zu construiren, man ohne Vergrößerung der Dimensionen, ohne Vermehrung der Windungen und ohne Anwendung außergewöhnlich großer Batterien noch Vieles durch Verbesserung in der Construction der Anker und durch Veränderung der Gestalt des Querschnitts der Elektromagnete erreichen kann.

Jedenfalls sind nun zunächst genauere und umfassende Untersuchungen über den Einfluß der Anker von der größten Wichtigkeit.

Ist die Magnetisirung eines Eisenstabes als eine Arbeit des 206
galvanischen Stromes zu betrachten. Bei der Vergleichung verschiedener Wirkungen des elektrischen Stromes ist bisher ein Gesichtspunkt ganz außer Acht gelassen worden, nämlich die Beantwortung der Frage: Ob und in wiefern eine bestimmte Wirkung des elektrischen Stromes als eine Arbeit desselben zu betrachten ist oder nicht.

Zunächst ist hier der Begriff der Arbeit festzustellen.

Eine jede mechanische Arbeit beruht in der Ueberwindung eines Widerstandes, wodurch stets ein Theil der bewegenden Kraft in Anspruch genommen wird. Ein durch seine Schwere niederfallender Körper verrichtet nur in sofern eine Arbeit, als er einen seinem Falle entgegenstehenden Widerstand überwindet; ein frei fallender Körper verrichtet keine Arbeit.

Dem entsprechend kann man auch nur diejenigen Wirkungen des galvanischen Stromes als eine Arbeit desselben betrachten, deren Hervorbringung nothwendig die Ueberwindung eines Widerstandes erfordert.

Da aber die Ueberwindung eines Widerstandes stets einen Theil der beschleunigenden Kraft gleichsam consumirt, so wird auch jede Arbeit des galvanischen Stromes mit einer entsprechenden Verminderung der Stromstärke verbunden seyn, gerade so wie auch ein niedersinkender Körper einen Theil seiner Fallgeschwindigkeit einbüßt, wenn er bei seinem Falle einen Widerstand überwinden muß.

Wird in eine durch einen dicken Kupferdraht geschlossene galvanische Batterie ein Voltameter eingeschaltet, so nimmt die Stromstärke augenblicklich ab. Die Wasserzersetzung ist also eine Arbeit für den galvanischen Strom.

Ebenso verhält es sich mit dem Erwärmen und dem Glühen von Metalldrähten durch den Strom.

Halten wir an dem aufgestellten Begriffe fest, so ist das Magnetisiren eines weichen Eisens durch den Strom keine Arbeit für denselben.

Wenn der Strom einer galvanischen Batterie durch eine Magnetisirungsspirale und eine Tangentenbussole geleitet ist, welche hinreichend weit von einander aufgestellt sind, so wird in dem Augenblicke, in welchem man

einen Eisenstab in die Spirale einschiebt, die Nadel der Tangentenbussole allerdings momentan durch einen Inductionsstrom afficirt, sie kehrt aber sogleich wieder zu ihrer früheren Stellung zurück und zeigt dieselbe Ablenkung, wenn der Eisenstab ruhig in der Spirale liegen bleibt, als ob er ganz entfernt wäre.

Der Strom wird also durch die Magnetisirung des Eisenstabes nicht im mindesten geschwächt.

Dies Resultat hätte sich wohl voraussehen lassen, denn wenn die Magnetisirung eine Arbeit des galvanischen Stromes wäre, so müßte auch umgekehrt ein Magnet, welcher ruhig in einer Spirale liegt, einen continuirlichen Strom in derselben erzeugen können, was bekanntlich nicht der Fall ist.

Die Magnetisirung eines weichen Eisens vermindert also die Stromstärke nicht; sobald aber in Folge der Anziehungen und Abstoßungen des Elektromagneten eine Bewegung hervorgebracht, also ein mechanischer Effect ausgeübt wird, tritt augenblicklich eine entsprechende Verminderung der Stromstärke ein, wie wir dies sogleich bei der näheren Betrachtung elektromagnetischer Motoren sehen werden.

207 **Versuche zur praktischen Benutzung der elektromagnetischen Triebkraft.** Wenige Zweige der Physik haben sich einer so raschen Entwickelung zu erfreuen, als der Galvanismus, und wenige haben in so kurzer Zeit so viele Früchte für das praktische Leben getragen. Galvanoplastik, galvanische Vergoldung und Versilberung, das Sprengen von Felsen durch Galvanismus, und vor Allem die elektrische Telegraphie, sind technische Anwendungen der galvanischen Elektricität, welche sich erst in den zwei letzten Decennien entwickelt haben.

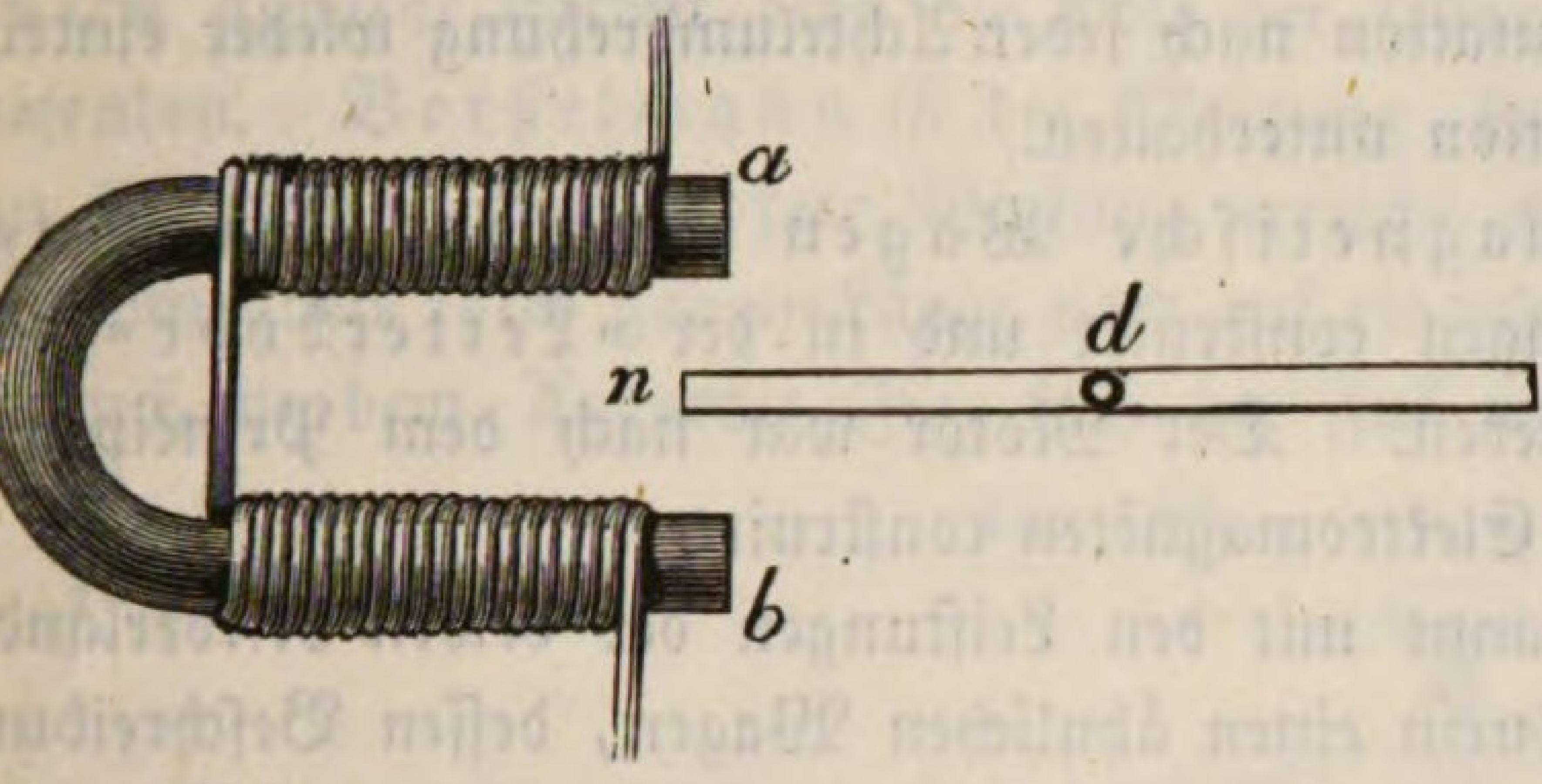
Weniger glücklich als in den eben angeführten Beispielen sind die Bemühungen gewesen, das galvanische Licht in die Praxis einzuführen, wie dies bereits auf Seite 418 angeführt wurde, und eben so wenig Erfolg hatten die Versuche, welche angestellt wurden, um den Elektromagnetismus als Triebkraft zu benutzen.

Das wichtigste, was bis zum Jahre 1838 auf diesem Felde geschehen war, hat Vorßelmann de Heer in einem Aufsatze zusammengestellt, welcher sich im 47sten Bande von Poggendorff's Annalen (S. 76) befindet. Demzufolge war Dal Negro in Padua der Erste, welcher einen Apparat verfertigte, in welchem der Elektromagnetismus als bewegende Kraft angewandt wurde; mit diesem Apparate konnte eine Last von 180 Grammen in einer Minute 1 Meter hoch gehoben werden; dies war der Nutzeffect des ersten elektromotorischen Motors, dessen Beschreibung sich in einer Abhandlung: Nuova Macchina elettro magnetica immagi-

nata dall' ab Salvatore Dal Negro, die sich in den Annali delle scienze del Regno Lombardo Veneto, März 1834, befindet.

Wenn ich Vorßelmann's Beschreibung recht verstanden habe, so war die Einrichtung der Maschine Dal Negro's im Wesentlichen folgende: Die beiden Pole *a* und *b*, Fig. 182, eines Uförmigen Elektromagneten standen vertical übereinander und zwischen beiden oscillirte um eine horizontale Axe *d*, sich drehend, der eine Pol *n* eines stabförmigen Stahlmagneten; *n* wird sich nach *a* hin bewegen, wenn *a* die entgegengesetzte Polarität von *n* hat; sobald aber *n* bei *a* angekommen ist, wird durch eine entsprechende Vorrichtung der Strom der Magnetisirungsspirale umgekehrt, jetzt wirkt also *a* abstoßend, *b* anziehend auf *n*. Sobald aber in Folge davon *n* bei *b* ankommt, erfolgt eine abermalige Commutation, welche *n* wieder in die Höhe treibt u. s. w. Die oscillirende Bewegung des Magnetstabes wird nun auf eine geeignete Weise in eine Rotationsbewegung verwandelt.

Fig. 182.



In Deutschland construirte zuerst Jakobi einen elektromagnetischen Motor, bei welchem unmittelbar eine rotirende Bewegung erzeugt wird. Er machte diesen Apparat und die damit angestellten Versuche in einem Schriftchen bekannt, welches im Jahre 1835 zu Potsdam unter dem Titel: Mémoire sur l'application de l'électromagnetisme au mouvement des machines, par M. H. Jacobi, erschien. In Poggendorff's Annalen (XXXVI, 366.) findet sich nur eine kurze Andeutung über die Einrichtung der Maschine und eine genauere Beschreibung des an ihr angebrachten Commutators.

Die Construction der Maschine ist im Wesentlichen folgende: Eine verticale Holzscheibe, die um eine horizontale Axe drehbar ist, trägt seitwärts, rechtwinkelig gegen ihre Ebene, also in horizontaler Lage, vier Hufeisen von weichem Eisen, deren Enden, wenn man die Scheibe dreht, dicht vor den Enden vier anderer Hufeisen vorübergehen, welche gleichfalls in horizontaler Lage unverrückbar an einem Holzgestell befestigt sind. Sämmtliche Hufeisen sind durch Umwickelung mit dem Schließungsdraht einer Volta'schen Säule zu Elektromagneten gemacht, und zwar in der Art, daß im Kreise herum sowohl bei den beweglichen als bei den festen, Nord- und Südpol immer mit einander abwechseln. Angenommen nun, daß ursprüng-

lich die gleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, so ist klar, daß die Scheibe, wenn man ihr einen geringen Stoß ertheilt, in der Richtung desselben so weit fortgehen wird, bis die ungleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, also bis sie etwa $1/8$ des Kreisumfanges zurückgelegt hat; in diesem Momente werden aber nun durch einen passenden Commutator die Pole der festen oder der beweglichen Elektromagnete umgekehrt und dadurch, indem die Commutation nach jeder Achtelumdrehung wieder eintritt, eine continuirliche Rotation unterhalten.

Der erste elektromagnetische Wagen wurde von Stratingh und Becker zu Gröningen construirt und in der »Letterbode« vom December 1835 beschrieben. Der Motor war nach dem Princip von Ritchie's rotirendem Elektromagneten construirt.

Wahrscheinlich unbekannt mit den Leistungen der beiden Niederländer verfertigte Botto in Turin einen ähnlichen Wagen, dessen Beschreibung man in der Bibliothèque universelle (Août 1836) findet. Mit dem Motor, welcher diesen Wagen in Bewegung setzte, konnte man in 4 Secunden ein Gewicht von 8 Kilogrammen 1,5 Meter hoch heben; es wären demnach 25 Botto'sche Maschinen nöthig, um die Wirkung einer Pferdekraft hervorzubringen.

In Amerika hat man sich mit vielem Eifer auf die Anfertigung elektromagnetischer Motoren gelegt. Page, Callan, Davenport haben den Elektromagnetismus auf verschiedene Weise als bewegende Kraft angewandt; der Letztere hat sogar ein Patent auf die Einführung elektromagnetischer Motoren in den Vereinigten Staaten erlangt Dieser Davenport ist ein Hufschmidt in einem Dorfe bei Rütland, im Staate Vermont, ein Mann voll Eifer und Ausdauer, der aber, nach dem was man von ihm in Sillimann's Zeitschrift liest, mit dem wissenschaftlichen Theil der Sache so gut wie ganz unbekannt ist.

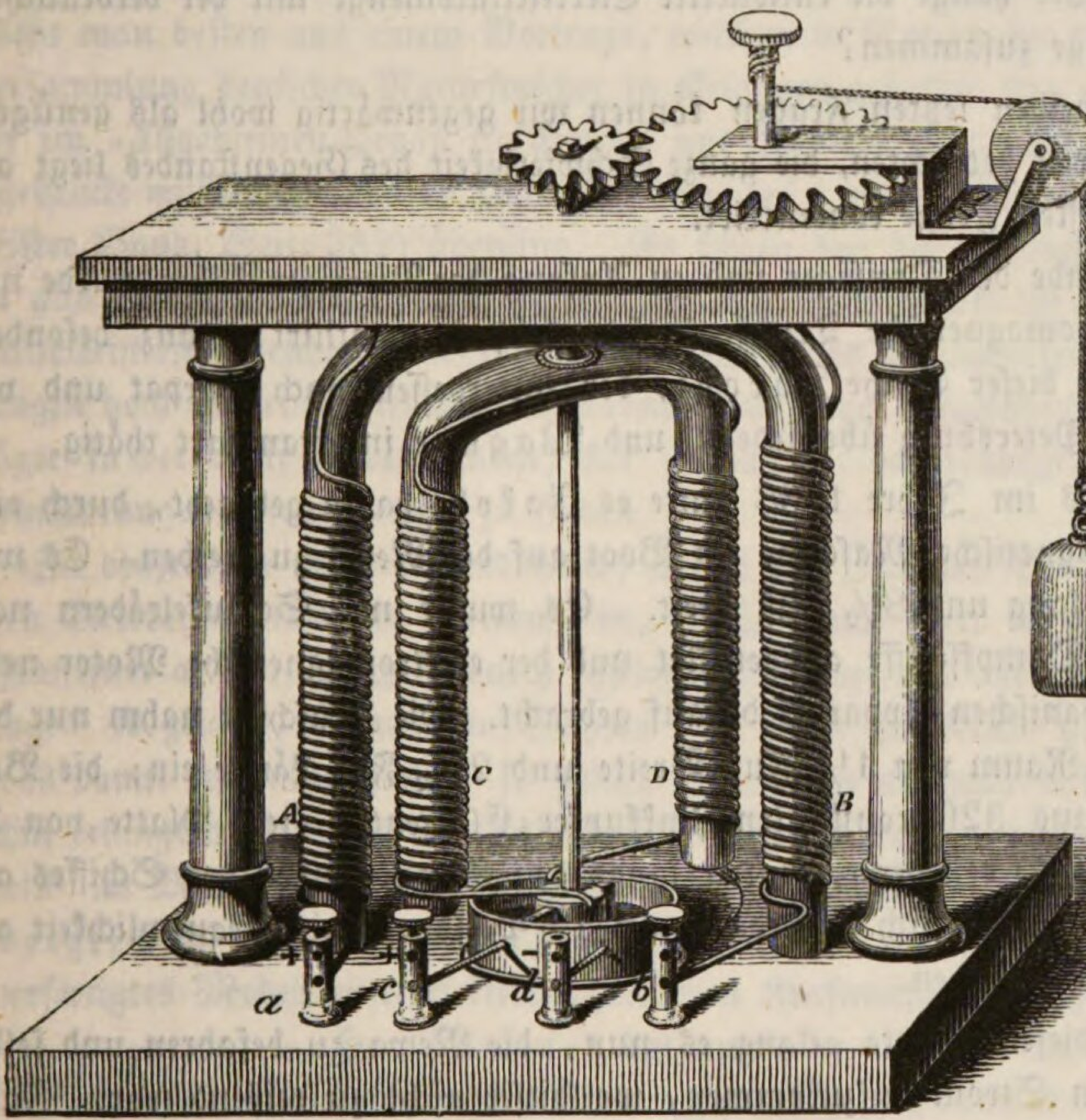
Aehnliches finden wir übrigens, wenn auch nicht ganz in dem Maße, noch bei vielen Andern, die sich mit dieser Aufgabe beschäftigt haben. Voll Eifer für die Sache geben sie sich den sanguinischsten Hoffnungen hin, wenn es ihnen gelingt, einige oft ganz sinnreiche und zweckmäßige Anordnungen oder Verbesserungen an den Apparaten anzubringen, während sie in Beziehung auf die Hauptfrage ganz und gar im Dunkeln umhertappen, weil es ihnen an den nöthigen Vorkenntnissen fehlt, um den mechanischen Effect ihrer Vorrichtungen gehörig zu würdigen.

Davenport meint, mit zwei Elektromagneten könne man die größten Maschinen mit weniger Kosten als durch Dampf treiben, und Callan sagt, wenn seine Berechnung richtig sey, so koste der Elektromagnetismus zur Fortschaffung von Wagen auf einer Eisenbahn höchstens $1/4$ so viel als der Dampf.

Vorßelmann spricht sich nun einerseits gegen solche, aller soliden experimentellen Begründung entbehrenden Schwindeleien, auf der andern Seite aber auch dagegen aus, daß man ohne weitere Prüfung über die praktische Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als Triebkraft den Stab bricht.

Bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet sowohl, als auch bei Jakobi's Apparat wirken bloß die Pole der festen Elektromagnete auf die rotirenden. Vorßelmann ist der Meinung, daß wohl unter sonst gleichen Umständen eine größere Wirkung erreicht werden könne, wenn die Elektromagnete ihrer ganzen Länge nach auf einander wirken, wie dies später auch in dem Apparate Fig. 183 der Fall war. Nach dieser Figur

Fig. 183.



läßt sich auch Vorßelmann's Apparat verständlich machen: man denke sich um die Rotationsaxe nicht zwei Arme *C* und *D*, sondern statt dessen vier in rechten Winkeln von einander abstehende, nicht weiter mit einander verbundene Elektromagnete, welche zwischen vier festen der Rotationsaxe gleichfalls parallelen Elektromagneten rotiren, wie *C* und *D* zwischen *A* und *B*.

Bei dem Apparat Vorßelmann's steht aber die Rotationsaxe nicht vertical, sondern sie ist horizontal, so daß vier horizontale Elektromagnete

zwischen vier festen und gleichfalls horizontalen rotiren, was natürlich eine andere Einrichtung des Commutators voraussetzt, welcher übrigens gleichfalls ein Quecksilber-Commutator ist.

Vorßelmann deutet nun den Weg an, welchen man gehen müsse, um die Frage über die praktische Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als bewegende Kraft zur Entscheidung zu bringen; er entwickelt, daß die Lösung abhängt von der Beantwortung folgender drei Einzelfragen:

1. Wie hängt die bewegende Kraft der elektromagnetischen Motoren von der erregten Magnetkraft ab?

2. Wie wird die Magnetkraft durch die entwickelte Elektricitätsmenge bestimmt?

3. Wie hängt die entwickelte Elektricitätsmenge mit der verbrauchten Zinkmenge zusammen?

Die beiden letzten Fragen können wir gegenwärtig wohl als genügend beantwortet betrachten, die ganze Schwierigkeit des Gegenstandes liegt also in der ersten Frage concentrirt.

Zu Ende der Dreißiger und zu Anfang der Vierziger Jahre wurde nun die elektromagnetische Triebkraft sehr lebhaft ventilirt; ganz besonders waren in dieser Sache Jakobi, der unterdessen nach Dorpat und von da nach Petersburg übersiedelte, und Wagner in Frankfurt thätig.

Bereits im Jahre 1838 hatte es Jakobi dahin gebracht, durch eine elektromagnetische Maschine ein Boot auf der Newa zu treiben. Es war 26 Fuß lang und $8^1/_2$ Fuß breit. Es wurde mit Schaufelrädern nach Art der Dampfschiffe ausgerüstet und der elektromagnetische Motor nebst dem galvanischen Apparate darauf gebracht. Die Maschine nahm nur den geringen Raum von $1^1/_4$ Fuß Breite und $2^1/_{12}$ Fuß Länge ein; die Batterien, aus 320 constanten Zinkkupfer-Elementen (jede Platte von 36 Quadratzoll) bestehend, waren längs den Seitenwänden des Schiffes angebracht, so daß sich außerdem noch 12 Personen mit Bequemlichkeit auf demselben befanden.

Mit diesem Boote gelang es nun, die Newa zu befahren und selbst gegen den Strom aufzukommen, wo dieser nicht zu reißend war. In 2 bis 3 Stunden wurde eine Tour von 7 Werst (1 Werst = 3285 par. Fuß) auf der Newa und in den Kanälen zurückgelegt. (Dingler's polyt. Journal, 71. Band, Seite 411.)

Im folgenden Jahre wurde ein Boot von 28 Fuß Länge, $7^1/_2$ Fuß Breite und $2^3/_4$ Fuß Tiefe im Wasser, welches 14 Personen trug, mit einer Geschwindigkeit von $2^1/_4$ engl. Meilen (1 engl. Meile = 4957 par. Fuß) in der Stunde auf der Newa fortgetrieben. Die elektromagnetische Maschine war die frühere, sie wurde aber durch eine Batterie von 64

constanten Zinkplatinelementen getrieben. Die Kraft, mit welcher die Maschine arbeitete, betrug $\frac{3}{4}$ bis 1 Pferdekraft. (P. A. LI. 358.)

Mit ganz besonderem Interesse verfolgte man in Deutschland die Arbeiten Wagner's in Frankfurt, obgleich er dieselben ziemlich geheim hielt und nur einzelne Andeutungen über seine Fortschritte im Publikum bekannt wurden. Der Fürst von Fürstenberg, als Förderer wissenschaftlicher und industrieller Unternehmungen rühmlichst bekannt, stellte ihm behufs der Anfertigung seiner Apparate und der Anstellung seiner Versuche die fürstlichen Werkstätten zu Riesdorf bei Stockach zur Disposition, wo Wagner sich mehrere Monate aufhielt und sich vorzugsweise mit der Anfertigung elektromagnetischer Wagen beschäftigte.

Welche Erwartungen man damals von Wagner's Erfindungen hegte, ersieht man besten aus einem Vortrage, welchen v. Reden bei der 18ten Versammlung deutscher Naturforscher in Erlangen gehalten hat, und welcher im »Allgemeinen Organ für Handel und Gewerbe, Nr. 123, S. 539« abgedruckt wurde, von wo er auch in Dingler's polytechnisches Journal, (78ster Band, Seite 332) überging. Es folgen hier die wichtigsten Stellen aus diesem Vortrage, weil sie sehr gut den Standpunkt Wagner's charakterisiren, welcher, wie man sehen wird, das Gebäude seiner Hoffnungen doch auf einer ziemlich unsicheren Grundlage aufgeführt hat. Es mögte in der That schwer halten, für manche der darin ausgesprochenen Behauptungen einen Beweis zu finden.

»Zu denjenigen unserer Landsleute, welche viel Zeit und Studium auf »den Elektromagnetismus verwendeten, gehört auch Herr Wagner in »Frankfurt a. M., welchem durch rastlosen Eifer bei viel natürlichen An»lagen es gelang, binnen fünf Jahren sich mit dieser Kraft und allem, »was damit zusammenhängt, so genau bekannt zu machen, daß die von »ihm erlangten Resultate sehr befriedigend genannt werden dürfen. Be»reits im Mai 1836, bei Gelegenheit des Jahresfestes der Senken»bergischen naturforschenden Gesellschaft wurde ein kleines von ihm »verfertigtes Modell einer elektromagnetischen Kraftmaschine vorgezeigt. — »— — — — — Herr Wagner hat nunmehr die erste Schwierigkeit »überwunden, nämlich die rasche Wirkungsabnahme der damals bekannten »Elektromotoren zu beseitigen, indem es ihm gelang, Elektromotoren her»zustellen, deren Wirkung für eine beliebige, dem Erfordernisse entspre»chende Zeit gleich blieb. Von da erst begann Herr Wagner an die »Möglichkeit der Anwendung des Elektromagnetismus als bewegende Kraft »zu glauben, und beschäftigte sich nun mit Anfertigung kleiner elektro»magnetischer Rotations-Apparate nach verschiedenen Principien. — — »— — Der Zufall hat Herrn Wagner auf ein Meßinstrument ge»leitet, mit dessen Hülfe es ihm möglich geworden ist, die Gesetze beider

»Kräfte (der Stromstärke und des von ihr erregten Magnetismus, M.) direct »zu studiren und dann die mechanischen Combinationen diesem entspre»chend anzuordnen.

»Die unter Berücksichtigung dieser Gesetze von Herrn Wagner er»sonnene mechanische Construction gewährt den Vortheil, daß die Kraft »elektromagnetischer Maschinen nicht arithmetisch, sondern quadratisch »wächst, d. h. eine in den betreffenden Theilen zehnmal größere Maschine »giebt nicht eine zehnmal, sondern eine hundertfach größere Kraft, ohne »daß dazu eine größere Elektricitätsmenge nöthig wäre; der Zinkverbrauch »bleibt vielmehr derselbe. Wird ferner der Elektromotor vergrößert, was »allerdings zur Entwickelung bedeutender Kraft erforderlich ist, so steht die »dadurch mehr erlangte Kraft in directem Verhältnisse zum Zinkverbrauch. »Daß diese Erscheinungen nicht bei jedem mechanischen Systeme zur An»wendung des Elektromagnetismus sich darlegen werden, bedarf kaum »der Erwähnung.

»Allein so weit vorgerückt, waren noch mehrere der Anwendung im »Großen entgegenstehende Hindernisse zu beseitigen. Dazu gehörte zu»nächst der von Faraday entdeckte magnet-elektrische Funke, welcher, bei »jedesmaliger Trennung der galvanischen Kette entstehend, nicht zu ver»meiden ist. — — — Bei Anwendung mächtiger Elektromotoren, wie »das praktische Leben sie verlangt, würde aus diesen Funken ein so hefti»ges Feuer entstehen, daß selbst Platin der Verbrennung nicht widerstehen »dürfte. Nach vielen vergeblichen Bemühungen und angestrengten Ver»suchen hat in neuester Zeit Herr Wagner auch dieses Hinderniß be»siegt und ein für jede Vergrößerung ausreichendes Schutzmittel gefun»den. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Die von mir in Augenschein genommenen Apparate — — — sind »folgende:

»1) Eine für beliebige, dem Bedürfniß entsprechende Zeit constante »Batterie mit nicht größerer Zinkconsumtion als zu disponibler Elektrici»tät erforderlich ist. — — — Das bei Benutzung der Batterie entste»hende Product (schwefelsaures Zinkoxyd) wird in so concentrirtem Zustande »gewonnen, daß bei Abkühlung Krystalle anschießen. Die Industrie wird »demnächst schon einen Verbrauch dafür finden, wie denn vielleicht das »so billige unreine kohlensaure Ammoniak zur Erzeugung von kohlensau»rem Zink wird benutzt werden können.

»2) Ein kleiner Wagen, welcher bei 36 bis 40 Pfund eigenem Ge»wicht, einen andern Wagen, mit 60 Pfund belastet, auf einer runden »Holzplatte von 7 Fuß Durchmesser im Kreise umherführt, und zwar mit »unveränderter Schnelligkeit 2½ bis 3 Stunden hindurch. — — Diese

»Locomotive mag ungefähr eine Geschwindigkeit einer deutschen Meile »in der Stunde haben (daß ist höchstens eine mechanische Arbeit von 6 »Fußpfund pr. Secunde, also gleich der von 1/84 Pferdekraft. M).

»3) Eine größere Maschine, bei welcher das rotirende System auch »nur 9 Zoll Durchmesser hat. — — Die Leistung dieser Maschine ist im »Verhältniß ihrer Größe sehr befriedigend; sie hat etwa eine Menschen»kraft und wird zur Bewegung einer Metalldrehbank benutzt.

»4) Ein kleines Modell mit Zählerapparat. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»5) Ein Meßapparat für directe Ermittelung der elektromagnetischen »Kraft. — — — Dieser Apparat weist auch den Laien die Art der Ver»mehrung der Kraft lediglich durch Vergrößerung eines Theils der Maschine »auf das überzeugendste nach.

— — — — — — — — — — — — —

»Fragen wir nun, welche Vorzüge würde die Anwendung des Elektro»magnetismus als bewegende Kraft vor der augenblicklich wichtigsten die»ser Kräfte, dem Wasserdampfe gewähren, und welche Vortheile sind schon »durch die bisherigen Entdeckungen im Gebiete des Elektromagnetismus »für die Praxis gewonnen?

»1) Der Elektromagnetismus hat den Vorzug gänzlicher Gefahrlosig»keit, indem der Elektromotor, z. B. des Herrn W., namentlich kein Zink»wasserstoffgas entwickelt.

»2) Da überall keine Gase erzeugt werden, so ist er der Gesundheit »durchaus unnachtheilig.

»3) Die Anschaffung des Apparates, der Maschine und auch deren »Betrieb ist ungleich weniger kostbar als bei der Dampfkraft, vor welcher »der Elektromagnetismus

»4) auch noch den Vorzug hat, daß im Zustande der Ruhe die Ma»schine gar nichts consumirt, und daß

»5) die Zinkconsumtion um so geringer ist, je größer die Geschwindig»keit wird.

»6) Die Maschine erleidet außer in den Zapfenlagern fast gar keine Ab»nutzung und nimmt verhältnißmäßig wenig Raum ein.

»7) Die Flüssigkeit, worin die Kupferplatte sich befindet, bedarf keiner »Erneuerung, nur die Flüssigkeit, worin die Zinkplatte sich befindet, er»fordert allmäligen Ersatz, um das schwefelsaure Zinkoxyd daraus krystalli»siren zu lassen.

»8) Die Maschine bedarf fast keiner Beaufsichtigung.

»9) Im Princip des Elektromagnetismus ist jeder Grad von Geschwin»digkeit zulässig.

»10) Der Elektromagnetismus gewährt die Thunlichkeit einer elasti»schen und gleichmäßigen Bewegung, sowie

»11) die Möglichkeit des raschesten Anhaltes ohne Stoß (wie verträgt »sich das mit dem Gesetz der Trägheit? M.) Endlich ist

»12) einer der wichtigsten Vorzüge des Elektromagnetismus als bewe»gende Kraft, seine bereits praktisch nachgewiesene Anwendbarkeit zu den »kleinsten Krafterfordernissen, und auf der andern Seite die schon jetzt »als sehr wahrscheinlich sich herausstellende Möglichkeit, demselben die »größten Kraftäußerungen abzugewinnen. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Wie weit der Elektromagnetismus zum Nachtheile des Wasserdampfes »sein Reich ausdehnen wird, darüber können bis jetzt nur Vermuthungen »geäußert werden; daß es noch ferner geschehen werde, unterliegt kei»nem Zweifel, und der Amerikaner Silliman hat schon vor Jahren »sehr mit Recht den Elektromagnetismus a new power of great but »unknown energy genannt.«

Wagner selbst sprach sich in einem Vortrage, den er vor einer Versammlung von Gewerbtreibenden zu Frankfurt a. M. gehalten hat, (Frankfurter Gewerbfreund, 1841 Nr. 23, Dingler's polyt. Journal, 80. Bd. S. 372.) fast ganz in derselben Weise aus. Unter den Vorzügen der neuen Kraft führt er auch den an, daß bei Anwendung derselben für Locomotiven dieselben leichter gebaut werden können. — Dabei hat er schwerlich daran gedacht, daß bei den verschiedenen Functionen, welche eine Locomotive zu verrichten hat, ihr Gewicht keine geringere Rolle spielt, als die Kraft ihrer Maschine. Nähere Details über seine Erfindungen hat Wagner nirgends publicirt, was in mancher Beziehung sehr zu bedauern ist, denn wenn sich auch bis jetzt noch keiner der gehofften Vortheile für die Industrie realisirte, so wären seiner Zeit doch manche Einzelheiten für die Wissenschaft von großem Interesse gewesen; Wagner selbst würde ohne diese Abschließung, durch den Verkehr mit sachkundigen Männern, namentlich mit Mechanikern gewiß einen klaren Blick über die Lage seiner Angelegenheit gewonnen haben, er würde sicher zu irgend einer Entscheidung gekommen seyn.

Die einzige bestimmte Nachricht von einer elektromagnetischen Locomotive, welche auf einer Eisenbahn gelaufen ist, fand ich, aus englischen Journalen entnommen, im 86. Bande von Dingler's polytechnischem Journal, Seite 407. Sie ist von Davidson construirt und lief auf der Edinburg-Glasgower Eisenbahn.

Der Wagen von 16 Fuß Länge und 7 Fuß Breite, wird von 8 kräftigen Elektromagneten getrieben, und lief mit einer Geschwindigkeit von 4 englischen Meilen in der Stunde.

Das ist nun freilich keine große Geschwindigkeit, und man muß anerkennen, daß dies Resultat ein sehr ungenügendes ist, wenn man bedenkt, daß diese Locomotive ganz allein lief und nicht einmal andere Wagen hinter sich herzuziehen hatte.

Kosten der elektromagnetischen Triebkraft. Die Möglichkeit, 208
selbst größere Maschinen durch Elektromagnetismus zu treiben, ist durch viele Versuche, namentlich durch die Jakobi's außer Zweifel gesetzt worden, dadurch ist aber für die praktische Anwendbarkeit dieser neuen Kraft in der Industrie noch nichts entschieden, denn von dieser könnte erst dann die Rede seyn, wenn erwiesen wäre, daß der Elektromagnetismus, unter gewissen Umständen wenigstens, wohlfeiler wäre als andere bewegende Kräfte.

Nur die Möglichkeit des Maschinenbetriebes durch Elektromagnetismus wollte Jakobi bei seinen Versuchen auf dem Boote darthun, der Kostenpunkt war bei denselben, wie er selbst sagt, ganz unberücksichtigt geblieben und alle vorhandenen Data sind nach dieser Seite hin viel zu unvollständig, um einen auch nur einigermaßen sichern Schluß zu erlauben.

Wagner hat über die Kosten seines Maschinenbetriebes gar keine Anhaltspunkte mitgetheilt, denn wenn er behauptet, der Elektromagnetismus sey billiger als Dampfkraft, so liegt dieser Behauptung wohl die Voraussetzung zu Grunde, daß der producirte Zinkvitriol die Kosten fast ganz decke, was übrigens mehr als zweifelhaft ist.

So fehlt es uns denn nach dieser Seite hin sehr an genügendem Material.

Auf Versuche Botto's sich stützend (es müssen spätere gewesen seyn, als die oben Seite 540 angeführten, denn sie wurden mit einer constanten Zinkplatinkette angestellt) berechnet Grove (aus dem Civil Engeneer and Architects Journal, März 1844, S. 94 in Dingler's polyt. Journal, 92. Bd. S. 136.) die Kosten der elektromagnetischen Triebkraft in folgender Weise. Um die Wirkung einer Pferdekraft für die Dauer von 24 Stunden hervorzubringen, ist die Consumtion von 45 Pfund Zink in einer constanten Zinkplatinbatterie erforderlich. Rechnet man den Preis des metallischen Zinks zu 3 Pence so käme diese Kraft auf 11 Schilling 3 Pence zu stehen; dazu kommt aber noch der Verbrauch von 50½ Pfund Salpetersäure, welche zu 6 Pence pr. Pfd. 1 Pfd. Sterl. 5 Schill. 3 Pence kostet. Die ganze Auslage folglich, um den Effect einer einzigen Pferdekraft durch einen elektrischen Kraftapparat 24 Stunden lang zu erhalten, würde 1 Pfd. Sterl. 16 Schill. 6 Pence betragen.

Bei dieser Berechnung ist vorausgesetzt, daß die Kosten für die erfor-

derliche Schwefelsäure durch den Werth der erzeugten Zinksalze vollständig gedeckt werden.

Dieselbe Kraft kommt durch eine Dampfmaschine nur auf wenige Schillinge zu stehen. Zwischen diesen Resultaten und Callin's Erwartungen ist freilich ein großer Abstand.

Die Kostspieligkeit der elektromagnetischen Triebkraft, sagt Grove, entspringt daraus, daß die Materialien für ihre Erzeugung, Zink, Salpetersäure und Schwefelsäure theure Fabrikate sind, Steinkohlen und Wasser aber, die Elemente der Dampfkraft, nur Naturproducte.

Auf den ersten Blick könnte man meinen, daß die Anwendung von Batterien, in welchen die theure Salpetersäure nicht angewendet wird, pecuniär vortheilhafter sey. Das ist jedoch keineswegs der Fall. Bei allen andern Batterien ist die elektromotorische Kraft der Elemente geringer; man muß also, um gleiche Stromstärke zu erhalten, eine weit größere Anzahl Plattenpaare anwenden, man hat also den gleichen Zinkverbrauch in einer größeren Anzahl von Zellen; was auf der einen Seite an Salpetersäure gespart wird, geht an Zink wieder verloren.

Ich habe mich nach weiteren Versuchen umgesehen, aus welchen man etwa die Kosten des elektromagnetischen Maschinenbetriebes wenigstens annähernd berechnen könnte, habe aber nichts gefunden als einige Versuche von Scoresby und Joule im Philosophical Magazine (vol. XXVIII. Seite 448.).

Von den Versuchen der beiden Engländer wird weiter unten noch mehr die Rede seyn, hier will ich nur einen Versuch anführen: bei einer Zinkconsumtion von 205 Gran pr. Stunde wurde mittelst einer elektromagnetischen Maschine ein mechanischer Effect von 21100 Fußpfund in der Stunde, das ist 5,8 Fußpfund in der Secunde, also ungefähr 1/88 Pferdekraft, hervorgebracht, demnach würde eine ganze Pferdekraft in 24 Stunden allein 56 Pfund Zink verzehren, also noch etwas theurer zu stehen kommen als nach obiger Berechnung Grove's.

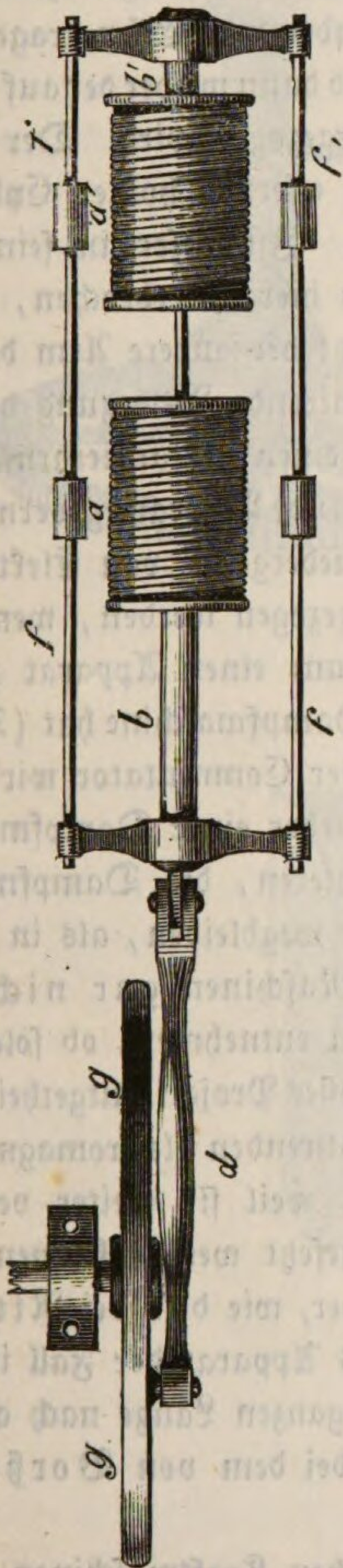
Stöhrer hat einige Versuche bekannt gemacht (P. A. LXIX. 87.) die er mit seiner elektromagnetischen Kraftmaschine angestellt hat, allein er giebt nur in Fußpfunden den mechanischen Effect an, welcher erhalten wurde, wenn der Strom von 1, 2, 3, 4 und 5 seiner Zinkkohlenbecher durch den Apparat geleitet wurde, ohne den Zinkverbrauch anzugeben oder Data mitzutheilen, aus denen man ihn etwa hätte berechnen können; zur Berechnung des Kostenpunktes sind also seine Angaben nicht zu gebrauchen.

209 **Construction der elektromagnetischen Kraftmaschine.** Man hat elektromagnetische Motoren in sehr verschiedenen Formen construirt, doch lassen sich der Hauptsache nach zwei Classen unterscheiden. In die erste

Classe gehören alle diejenigen Apparate, bei denen ursprünglich eine oscillatorische Bewegung hervorgebracht wird, die erst in eine continuirlich drehende verwandelt werden muß; die zweite Classe bilden alle diejenigen Apparate, in denen durch die elektromagnetischen Kräfte unmittelbar eine Rotationsbewegung hervorgebracht wird.

Betrachten wir zunächst die Maschinen der ersten Classe, welche die weniger verbreiteten sind.

Fig. 184.



Dal Negro's Apparat, welcher hierher gehört, wurde bereits auf Seite 539 besprochen. Page, Professor der Chemie am Columbia-Collegium zu Washington, construirte einen hierher gehörigen Apparat, der in Silliman's Journal beschrieben ist (Dingler's polyt. Journal, 102 Bd. S. 112.), das Wesentliche desselben wird durch Fig. 184 verständlich werden.

Auf einem Brett sind in horizontaler Lage zwei Magnetisirungsspiralen *a* und *a'* in horizontaler Lage so befestigt, daß ihre Axen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Die beiden Eisenstäbe *b* und *b'*, durch ein Messingstäbchen mit einander verbunden, sind an dem beweglichen Rahmen *f f'* befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch *a'*, so wird *b'* nach der Linken gezogen; so bald der Stab *b'* ganz in *a'* hineingeschoben ist, wird der Strom in *a'* unterbrochen, während er durch *a* zu laufen beginnt. *b* wird jetzt in die Spirale *a* hineingezogen, während *a'* nicht mehr auf *b'* wirkt; ist die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, so tritt abermals ein Stromwechsel ein, und so wird eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche durch die Treibstange *d* dem Schwungrad *g* eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechsel ist an der Schwungradswelle angebracht. Diese so wie die Drahtleitungen sind in der Zeichnung weggelassen, da es nur darauf ankam, eine Idee von dem Apparate zu geben.

Werden die Eisenstäbe *b* und *b'* durch Magnetstäbe ersetzt und der Apparat durch die Hand mittelst einer Kurbel umgedreht, so werden in *a* und *a'* Inductionsströme erzeugt, der Apparat kann also in diesem Falle als magnetoelektrische Maschine benutzt werden.

In dem London Journal of arts, November 1839 (Dingler's polyt. Journal, 75 Bd. S. 88.) beschreibt Callet eine elektromagnetische Kraftmaschine, welcher er die Form einer Dampfmaschine zu geben suchte. Von den beiden Enden eines Balanciers, welcher dem Balancier einer gewöhnlichen Niederdruckmaschine ganz gleich geformt ist, hängen Pleuelstangen herab, welche unten genau abgedrehte Cylinder von Eisen tragen, von denen abwechselnd der auf der rechten Seite und dann wieder der auf der linken Seite in einen hohlen Elektromagneten niedergezogen wird. Der Strom geht also einmal durch den Draht des einen eisernen hohlen Cylinders, wodurch der eine Eisenstab niedergezogen wird. Ist dieser in seiner tiefsten Stellung angekommen, so wird der Strom hier unterbrochen, er umläuft nun den anderen Hohlcylinder, so daß jetzt der andere Arm des Balanciers niedergezogen wird u. s. w., die alternirende Bewegung des Balanciers wird mittelst einer in der Mitte des einen Balancierarmes befestigten Treibstange und einer Kurbel in eine rotirende Bewegung verwandelt.

Hjorth hat das alternirende Auf- und Niedergehen von Elektromagneten, welche in die Höhlung anderer hineingezogen werden, wenn diese durch den Strom magnetisirt sind, benutzt, um einen Apparat zu construiren, der ganz die Form einer oscillirenden Dampfmaschine hat (Dingler's polyt. Journal, Bd. 113, S. 425.); der Commutator wird durch eine excentrische Scheibe geführt, wie der Schieber einer Dampfmaschine.

Eine nähere Beschreibung dieser beiden letzteren, die Dampfmaschine nachahmenden Formen, dürfte hier um so eher wegbleiben, als in den citirten Aufsätzen über die Wirksamkeit dieser Maschinen gar nichts gesagt ist, ja es ist aus denselben nicht einmal zu entnehmen, ob solche Apparate wirklich ausgeführt sind, oder ob ein bloßes Project mitgetheilt wird.

Bei der zweiten Classe, den unmittelbar rotirenden elektromagnetischen Motoren, können wir uns noch kürzer fassen, weil sie weiter verbreitet und der Hauptsache nach als bekannt vorausgesetzt werden können. Bei ihnen wirken entweder nur die Pole auf einander, wie dies bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet und bei Jakobi's Apparat der Fall ist, oder es wirken die elektromagnetischen Stäbe ihrer ganzen Länge nach auf einander, wie bei dem Apparate Fig. 183 und bei dem von Vorßelman vorgeschlagenen.

Man hat solcher rotirenden elektromagnetischen Kraftmaschinen in gar mannichfachen Modificationen construirt, die oft ganz sinnreich und zweckmäßig sind, die nähere Besprechung derselben gehört aber nicht hier her.

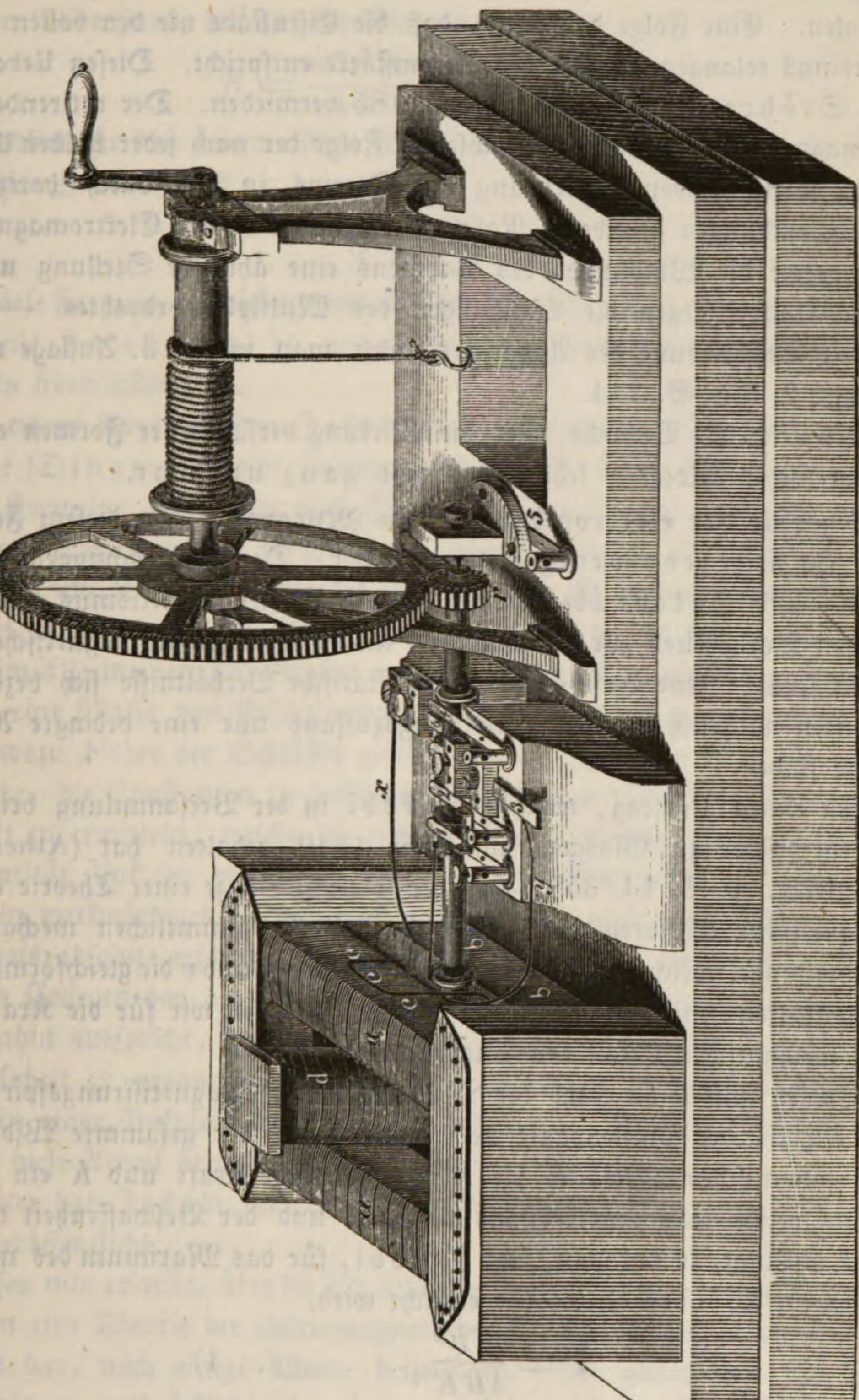


Fig. 185.

Alle diese Maschinen verlieren einen Theil ihrer Wirksamkeit dadurch, daß bei rascher Rotation die Polarität in den Eisenstäben nicht so schnell umgekehrt werden kann, wie die Stromrichtung in den Magnetisirungsspiralen. Eine Folge davon ist, daß die Eisenstäbe nie den vollen Magnetismus erlangen, welcher der Stromstärke entspricht. Diesen Uebelstand hat Stöhrer in dem Apparat Fig. 185 vermieden. Der rotirende Elektromagnet d rotirt ohne Polwechsel in Folge der nach jeder halben Umdrehung stattfindenden Umkehrung des Stroms in den durch horizontale Drahtwindungen gebildeten Rahmen aa und bb, der Elektromagnet hat hier gegen die Windungen des Rahmens eine ähnliche Stellung wie die Magnetnadel gegen die Windungen des Multiplicatordrahtes. — Eine nähere Beschreibung des Apparates findet man in der 3. Auflage meiner Physik 2. Bd. S. 214.

Vergleichende Versuche über die Wirkung verschiedener Formen elektromagnetischer Motoren fehlten bis jetzt ganz und gar.

210 **Theorie der elektromagnetischen Motoren.** In diesem Felde ist bis jetzt noch sehr wenig gethan worden. Die Untersuchungen, welche Lenz und Jakobi über die Gesetze des Elektromagnetismus anstellten, sollten Vorarbeiten zur Entwickelung einer Theorie elektromagnetischer Motoren seyn. Jene Gesetze aber, auf statische Verhältnisse sich beziehend, konnten natürlich bei dem Bewegungszustand nur eine bedingte Anwendung finden.

In einem Vortrag, welchen Jakobi in der Versammlung brittischer Naturforscher zu Glasgow im Jahr 1840 gehalten hat (Athenaeum Nr. 678, P. A. LI. 358), theilt er folgende Skizze einer Theorie elektromagnetischer Motoren mit. Bezeichnet R die sämmtlichen mechanischen Widerstände, welche auf die Maschine einwirken, und v die gleichförmige Geschwindigkeit, mit welcher sie sich bewegt, so haben wir für die Kraft oder den mechanischen Effect den Ausdruck $T = Rv$.

Es sey nun n die Zahl der Windungen der Magnetisirungsspirale, z die Anzahl der Plattenpaare der Batterie, B der gesammte Widerstand der galvanischen Kette, E die elektromotorische Kraft und K ein Coefficient, welcher von dem Abstand der Pole und der Beschaffenheit des Eisens abhängt, so hat man, sagt Jakobi, für das Maximum des mechanischen Effects [1]), welches erreicht wird,

$$T = \frac{z^2 E^2}{4BK} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

[1]) Das heißt wenn die disponibeln galvanischen Becher so geordnet sind, daß man ein Maximum von Stromstärke erhält, daß also der Widerstand der Kette gleich dem des Schließungsbogens ist.

für die Geschwindigkeit, welche diesem Maximum entspricht,

$$v = \frac{B}{Kn^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

für den Widerstand, der auf die Maschine einwirkt,

$$R = \frac{n^2 z^2 E^2}{4 B^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

und endlich für den öconomischen Effect, d. h. für den Nutzeffect, dividirt durch den Zeitverbrauch

$$O = \frac{E}{2K}.$$

Wie diese Formeln entwickelt worden sind, ist nicht angegeben; ebenso wenig theilt Jakobi mit, ob und in wie weit sie mit den Erfahrungsresultaten übereinstimmen.

In einem Vortrage, den Jakobi in der Petersburger Akademie gehalten hat (Dingler's polyt. Journal, 85. Bd. S. 439), sagt er selbst von diesen Formeln: »Ich habe diese Gesetze in ihren Details noch nicht einer »strengen experimentellen Prüfung unterwerfen können, aber Alles ist vor»bereitet, um die erste Muße, die mir vergönnt ist, zu dieser umfassenden »Arbeit zu benutzen. Die Bestätigung dieser Gesetze hat sich mir bis jetzt »nur im Allgemeinen und Großen ergeben, indem ich durch sie im Stande »war, eine Masse von Erscheinungen zu erklären die sich mir dargeboten »und wozu bisher der Schlüssel gefehlt hatte. Jetzt aber wird es noth»wendig, die Constanten zu bestimmen, und namentlich die mechanische »Arbeit zu ermitteln, welche die elektrolytische Auflösung einer gegebenen »Quantität Zink zu produciren vermag. Indessen mache ich Sie noch »auf ein merkwürdiges Factum aufmerksam, das auch diese Bestimmung »nicht als absolute erscheinen läßt, — ein Factum, das namentlich unsere »Herrn Collegen von der Chemie in Verwunderung setzen wird, indem es »sich dahin ausspricht, daß dasselbe Atom Zink eine verschiedene mechani»sche Arbeit zu produciren vermag, je nachdem es in einer Zinkkupfer»oder in einer Zinkplatinbatterie aufgelöst wird. In letzterem Falle ist »z. B. diese Arbeit beinahe $1^3/_4$mal größer als im ersteren.«

Später hat Jakobi meines Wissens Nichts mehr über diesen Gegenstand veröffentlicht.

Es sey mir erlaubt, über die Art und Weise, wie Jakobi mittelst jener Formeln eine Theorie der elektromagnetischen Kraftmaschinen zu entwerfen versucht hat, noch einige Worte beizufügen. Sie gelten nur für den Fall, wie er ausdrücklich gesagt hat, daß bei gegebener Drahtmasse die disponibeln Becher so geordnet sind, daß ein Maximum von Stromstärke erhalten wird, was, wie Lenz und Jakobi früher bewiesen haben, dann der Fall ist, wenn der Widerstand der Batterie dem Widerstand des Schlie=

ßungsbogens gleich ist. — Dadurch nun, daß sich die Formeln nur auf einen so speciellen Fall beziehen, scheint mir nun ihre Anwendbarkeit zu sehr beschränkt zu seyn.

Jakobi's Formeln geben einen Zusammenhang zwischen dem mechanischen Effect, der Becherzahl, der elektromotorischen Kraft und dem Leitungswiderstand der Säule. Hier scheint es nun, als ob man eher hoffen dürfte eine genügende Lösung zu erhalten, wenn man die von Jakobi behandelte Frage in zwei spaltet, wenn man zuerst ermittelt, welche Beziehung findet statt zwischen Stromstärke, Rotationsgeschwindigkeit und mechanischer Wirkung. Ist einmal diese Frage beantwortet, so ist es nachher leicht zu ermitteln, mit welcher Einrichtung der Batterie man eine gewünschte Stromstärke am zweckmäßigsten erhält.

Durch die Trennung dieser Fragen gewinnt man jedenfalls eine klarere Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen; die allgemeinen Stromverhältnisse erscheinen nicht verwickelt mit den specifischen Verhältnissen elektromagnetischer Motoren, wie dies in der letzten Behauptung Jakobi's der Fall ist.

Die Verschiedenheit im Verhältniß zwischen Zinkconsumtion und Effect, je nachdem man eine Grove'sche oder eine Daniell'sche Batterie anwendet, tritt nicht allein bei elektromagnetischen Motoren auf, sondern sie ist allen Stromwirkungen gemeinschaftlich; die Behauptung, welche Jakobi von dem mechanischen Effecten aufstellt, gilt ganz allgemein von der Stromstärke und von allen Wirkungen, welche der Strom hervorbringt.

Durch einen beliebigen Schließungsbogen gehe der Strom einer Säule von *n* Grove'schen Bechern, deren Anzahl so gewählt ist, daß der Widerstand der Batterie gleich ist dem des Schließungsbogens, für welchen Fall, wie Lenz und Jakobi zuerst gezeigt haben, die Stromstärke größer ist als für jede andere Combination derselben Becherzahl.

Nun soll dieselbe Wirkung mit einer Daniell'schen Batterie hervorgebracht werden. —Soll die Säule dieselbe elektromotorische Kraft haben wie im vorigen Falle, so muß man eine Säule von $^7/_4\, n$ Daniell'schen Bechern anwenden, weil die elektromotorische Kraft jedes einzelnen nur $^4/_7$ von dem eines Grove'schen Bechers ist. Sind nun außerdem die Daniell'schen Becher so groß gemacht, daß der Widerstand der ganzen Säule jetzt gerade so groß ist als der Widerstand obiger Grove'schen Säule, so muß nothwendig die Stromstärke in beiden Fällen ganz gleich seyn, da ja bei gleichem Schließungsbogen auch die elektromotorischen Kräfte und die Widerstände der Säulen gleich sind.

Ist ein Voltameter in den Schließungsbogen eingeschaltet, so wird man also mit beiden Säulen gleiche Wasserzersetzung erhalten; gleiche Glüher-

scheinung, wenn sich ein dünner Draht im Schließungsbogen befindet, gleichen mechanischen Effect, wenn der Strom die Spiralwindungen eines elektromagnetischen Motors durchläuft. Während in allen diesen Fällen die gleiche Wirkung im Schließungsbogen erzielt wird, durchläuft derselbe Strom einmal n, das andere mal $\frac{7}{4}n$ Zellen, im letzteren Falle wird also bei gleichem Effect im Schließungsbogen die Zinkconsumtion $\frac{7}{4}$mal so groß seyn als im ersten.

Daraus ergiebt sich wieder auf eine ganz anschauliche Weise, daß von einem elektrothermischen Aequivalent des in der Säule galvanisch verzehrten Zinkes keine Rede seyn kann, wie dies bereits in etwas anderer Form auf Seite 382 gesagt worden ist.

Theorie der elektromagnetischen Motoren von Joule und Scoresby. 211 Außer den ersten Versuchen Jakobi's, eine Theorie der elektromagnetischen Kraftapparate zu entwickeln, ist dieser Gegenstand nur noch von Joule und Scoresby behandelt worden, welche ihre theoretischen Betrachtungen und Versuche in einem kleinen Aufsatz beschrieben haben, der sich im 28. Bande des Philosophical Magazine (Seite 484) findet. Joule hat schon früher Einiges über den Zusammenhang zwischen den thermischen und mechanischen Wirkungen des Stromes und die zu seinen Unterhalte nöthige Consumtion in der Batterie bekannt gemacht (Phil. Mag. vol. XVIII und XIX). Leider sind mir die früheren Bände des Philosophical Magazine nicht zugänglich, und ich muß mich deshalb darauf beschränken, über den gemeinschaftlichen Aufsatz von Joule und Scoresby zu berichten.

Der Grundgedanke, welchen die beiden Naturforscher in demselben durchzuführen versuchen, ist, wenn ich recht verstanden habe, kurz folgender: Wenn ein elektromagnetischer Motor in Ruhe gehalten wird, während ein Strom seine Drahtwindungen durchläuft, so wird eine der Stromstärke entsprechende Wärmemenge in den Drähten entwickelt werden. Läßt man nun die Maschine laufen, so nimmt die Stromstärke ab, ein Theil der vorher entwickelten Wärme erscheint also jetzt in mechanischen Effect verwandelt.

Die wichtigste Stelle des besprochenen Aufsatzes will ich hier wörtlich anführen, sie heißt:

»Er (nämlich Joule) hat gezeigt, daß wenn alle Wärme, welche durch »die Consumtion von 1 Gran Zink in einer Daniell'schen Batterie ent»wickelt wird, in nutzbare mechanische Kraft verwandelt werden könnte, sie »der Hebung einer Last von 158 Pfd. auf die Höhe von 1 Fuß gleich »wäre. Bezeichnen wir die Stromstärke, wenn die Maschine in Ruhe »gehalten wird, mit a, wenn die Maschine im Lauf ist aber mit b, so ver-

»halten sich die Wärmemengen, welche für beide Fälle in einer gegebenen »Zeit entwickelt werden, wie a^2 zu b^2. Weil sich aber die Quantitäten »von Zink, welche verzehrt werden, wie a zu b verhalten, so verhalten sich »auch die in beiden Fällen durch gleiche Zinkmengen erzeugten Wärme»quantitäten wie a zu b oder direct wie die Stromstärken; $a - b$ stellt »die in mechanischer Wirkung verwandelte Wärmemenge dar. Bezeichnet »man nun mit x den in Fußpfunden ausgedrückten mechanischen Effect, »welcher durch die Consumtion von 1 Gran Zink hervorgebracht werden »kann, so haben wir

$$x = 158 \frac{a - b}{a}$$

»Nach der obigen Auseinandersetzung ist es klar, daß die öconomische »Leistung ein Maximum wird, wenn b verschwindet, oder wenn es wenig»stens sehr klein im Vergleich gegen a ist. In diesem Fall wird $x = 158$, »während die Kraft der Maschine unendlich klein wird, wenn man die »in einer Zeit hervorgebrachte mechanische Wirkung ins Auge faßt.«

Joule und Scoresby haben es auch versucht, ihre Formel durch das Experiment zu bestätigen. In der folgenden Tabelle habe ich die Resultate der 6 Versuche zusammengestellt, welche sie in dieser Beziehung gemacht haben.

	Stromstärke wenn die Maschine in Ruhe a	Stromstärke wenn die Maschine in Bewegung b	Mechanischer Effect in Fußpfunden pr. Stunde.	Zinkconsumtion in 1 Stunde.
1	2232	920	21100	205 Gran
2	2232	850	17820	190 »
3	1381	850	8800	190 »
4	1381	678	9000	151 »
5	2081	1300	10030	291 »
6	2035	1000	12672	223 »

Dividirt man den Zinkverbrauch in den entsprechenden mechanischen Effect, so ergiebt sich der mechanische Effect für 1 Gran Zink; dieser läßt sich aber auch aus der oben entwickelten Theorie ableiten, wenn man in die Gleichung $x = 158 \frac{a - b}{a}$ für a und b die corespondirenden Wer-

the aus obiger Tabelle substituirt. Stellt man die beobachteten und die berechneten Werthe von x zusammen, so ergiebt sich folgende Tabelle.

beobachtet	berechnet	
93	103	0,903
98	94	1,04
60,7	46,3	1,31
80,4	59,6	1,51
59,3	34,5	1,71
80,3	56,8	1,40

Die letzte Columne dieser Tabelle enthält das Verhältniß der berechneten Werthe von x zu den beobachteten, die Zahlen dieser Columne sind also dadurch erhalten, daß man die der ersten durch die der zweiten dividirt.

Man sieht nun, daß die beobachteten und die berechneten Werthe oon x sehr stark von einander abweichen, und daß auch das Verhältniß zwischen beiden sehr veränderlich ist, indem es zwischen 0,9 und 1,7 schwankt.

Diese Vergleichung spricht nicht sehr zu Gunsten der Theorie, deren Entwickelung gleichfalls noch viel zu wünschen übrig läßt. Die Art und Weise, wie die beiden englischen Gelehrten ihre Versuche anstellten, ist aber gewiß die einzige, welche hier zu einem Ziele führen kann, nur wäre zu wünschen, daß der mechanische Effect nicht bloß in Fußpfunden ausgedrückt wäre, sondern daß in jedem Fall die Größe der gehobenen Last und die Geschwindigkeit angegeben würde.

Durch diese Auseinandersetzungen glaube ich dargethan zu haben, daß die Theorie der elektromagnetischen Motoren noch in ihrer ersten Kindheit liegt, daß also auf diesem Felde noch sehr viel zu thun übrig bleibt.

Die Reibungselektricität in ihrer Anwendung auf die Telegraphie. Den ersten Versuchen zu einer elektrischen Telegraphie gingen 212
die im Jahre 1746 durch Winkler in Leipzig, 1747 durch Watson in London, so wie durch Le Monnier in Paris angestellten Untersuchungen über die Geschwindigkeit der in Bewegung befindlichen Reibungselektricität unmittelbar vorher.

Der Erste, der hiervon eine Anwendung auf die Telegraphie gemacht hat, scheint Lesage aus Genf gewesen zu sein. Derselbe construirte 1774 einen Telegraphen aus 24 isolirten Metalldrähten, an deren Enden

Paare von Hollunderkügelchen angehängt waren, welche an dem einen Ende divergirten, sobald das andere Ende mit dem Conductor einer in Thätigkeit befindlichen Elektrisir-Maschine verbunden wurde. Durch das Auseinandergehen des einen oder des anderen Paares dieser Kügelchen konnte nach Belieben jeder der 24 Buchstaben signalisirt werden.

Lomond (Young's travels in France, 1787, 4 ed. I. p. 79) hatte ein entfernt stehendes Elektrometer aus Hollunderkügelchen durch einen langen Messingdraht mit dem Conductor einer Elektrisir-Maschine verbunden und konnte mittelst dieses einen Drahtes durch geeignete Gruppirung mehrerer Divergenzen behufs der Bezeichnung der Buchstaben sich eben so gut in die Ferne verständlich machen, als Lesage dieses mit 24 Drähten erreichte.

Reißer (Voigt's Magazin, Bd. 9. S. 1.) machte 1794 den Vorschlag, auf der einen Station 26 Glastäfelchen, jedes mit einem auf die bekannte Weise in Staniolstreifen ausgeschnittenen Buchstaben versehen, aufzustellen, das untere Staniolende eines jeden Buchstabens durch einen besonderen Draht, dagegen alle oberen Staniolenden durch einen siebenundzwanzigsten Draht mit der entfernten Station zu verbinden. Vermittelst der Entladung einer Leydener Flasche durch den einen oder den anderen Draht gedachte er auf der entfernten Station in den Lücken des unterbrochenen Staniolstreifens überspringende Funken zu erzeugen und dadurch den betreffenden Buchstaben in glänzender und leuchtender Gestalt zu signalisiren.

Einen praktischeren Vorschlag machte fast gleichzeitig Böckmann; auch er gedachte einen an der entfernten Unterbrechungsstelle der aus zwei Drähten bestehenden Leitung überspringenden Funken als Signal zu wählen und durch Combination von Funkengruppen die Buchstaben zu repräsentiren.

Dr. Salva (Voigt's Mag., Bd. 11, St. 4) zu Madrid führte 1798 einen ähnlichen Telegraphen in ziemlich großem Modelle aus, und in demselben Jahre zog der Franzose Betankourt (Gauß und Weber, »Resultate des magnet. Ver.« Götting. 1838. S. 14) eine Drahtkette von Aranjuez nach Madrid, vermittelst welcher die Entladung einer elektrischen Batterie zu einer telegraphischen Correspondenz benutzt werden konnte.

Alle diese, sowie die 1797 von Cavallo (dessen Elektr.-Lehre, 1797) und 1816 von Rolands (Description of an electr. telegr., London 1823, auch in Bullet. univ. I. 38) auf die Entladung einer Flasche oder einer Batterie gegründeten Vorschläge zu einer elektrischen Telegraphie sind an den vielen Hindernissen gescheitert, welche die Unbeständigkeit der Elektrisir-Maschine, ihre Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszustande der

Luft, die Schwierigkeit einer vollständigen Isolirung mehrerer Drähte und die Unsicherheit in der Beobachtung des Funkens mit sich führen.

Der Galvanismus in seiner Anwendung auf die Telegraphie. 213
Mit der Entdeckung des Galvanismus, der Volta'schen Säule und ihrer Wirkungen ging auch die Telegraphie einen Schritt weiter. Im Jahre 1808 construirte Sömmering in München (Denkschr. d. K. Akad. der Wissensch. zu München für 1809) einen Apparat, in welchem er die durch die Volta'sche Säule bewirkte Wasserzersetzung zum Telegraphiren benutzte. Auf derjenigen Station, wohin eine Nachricht gelangen sollte, waren in einem schmalen Wasserbehälter 35 mit Wasser angefüllte und mit Buchstaben oder Ziffern bezeichnete Gläschen umgestülpt; auf der andern Station befanden sich eben so viele und eben so bezeichnete Messingcylinderchen, von denen jedes das eine Ende eines Drahtes trug, der zu der entfernten Station hinlief und dort mit seinem vergoldeten Ende in das entsprechende Gläschen mündete. Wurden nun zwei dieser Cylinder mit den Polen einer Volta'schen Säule verbunden, so zersetzte der entstandene und durch die mit dem Cylinder verbundenen Drähte circulirende galvanische Strom in denjenigen Gläschen, in denen diese Drähte endigten, das Wasser, dessen luftförmige Bestandtheile in Form von Bläschen in die Höhe stiegen und so zwei Zeichen zugleich angaben, deren Reihenfolge dadurch bestimmt war, daß immer der Buchstabe des Wasserstoffgläschens voranging. Die 35 Leitungsdrähte waren so gut als möglich isolirt und in einiger Entfernung von den Apparaten zu einem Strange zusammengewunden.

Wegen der großen Kosten der vielen Drähte und der Unmöglichkeit, dieselben auf längere Zeit und in einer größern Strecke gehörig isolirt zu halten, konnte an eine Anwendung dieses Telegraphen im Großen nicht gedacht werden.

Die Ideen Schweigger's, ebenfalls durch die Wasserzersetzung alle Sömmering'schen Signale vermittelst einer nur aus zwei Drähten bestehenden Leitung darzustellen, indem eine schwächere und eine stärkere Batterie in Anwendung kommen und außerdem noch die Zeit in Betracht gezogen werden sollte, welche theils während einer jeden Gasentwickelung, theils als Pause zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gasentwickelungen verfließt, sind nur im Modelle, die fünf Jahre später von Coxe, Professor zu Philadelphia (Ann de Philad. par Thompson, 1810) gemachten Vorschläge aber, die Einwirkung der Volta'schen Säule auf das Wasser, auf Salze oder andere chemische Substanzen zum Telegraphiren zu benutzen, gar nicht zur Ausführung gekommen.

Viel später, im Jahre 1839, hat Vorsselman de Heer (Pogg. Ann. Bd. 46. S. 513) eine von dem vorigen ganz abweichende, aber in

ihrem Wesen auf rein galvanischen Principien beruhende und daher schon hier zu beschreibende telegraphische Methode vorgeschlagen und in kleinerem Maaßstabe zur Ausführung gebracht.

Dieser Telegraph beruht auf den physiologischen Wirkungen der galvanischen Ströme und nimmt daher das Gefühl zum Empfangen der Zeichen in Anspruch. Zehn Leitungsdrähte verbinden die durchaus gleichen Apparate der beiden Stationen; dieselben bestehen aus zehn von einander getrennten und mit den Leitungsdrähten verbundenen metallischen Tastenpaaren. Der Beobachter, welcher eine Nachricht empfangen soll, hält seine Finger auf den zehn Tasten und kann nun von der andern Station aus, woselbst zur Erzeugung des Stromes ein Inductions-Apparat aufgestellt ist und durch Niederdrücken je zweier Tasten die Kette geschlossen wird, gleichzeitige Erschütterung erhalten

a) in einem Finger der rechten Hand und einem Finger der linken Hand,

b) in zwei Fingern der rechten Hand, oder

c) in zwei Fingern der linken Hand.

Die Erschütterungen a) geben offenbar in 25 verschiedenen Combinationen eben so viele Zeichen, nämlich die 25 Buchstaben; der Erschütterungen b) giebt es zehn, sie bezeichnen die Ziffern, während in den Signalen c) noch zehn Zeichen für den reglementären Theil des Dienstes, zur Bezeichnung des Wortendes u. dergl. hinzukommen.

Der Mechanismus dieses Telegraphen ist höchst sinnreich, einfach und ohne namhafte Kosten herzustellen; aber es haben wieder die bedeutenden Kosten der zusammengesetzten Drahtleitung, so wie die Schwierigkeit ihrer Isolirung der Ausführung desselben im Großen unübersteigliche Hindernisse entgegengesetzt.

Die Erfahrung hat übrigens in der neuesten Zeit gelehrt, daß häufige, sich oft hintereinander wiederholende elektrische Erschütterungen die Beobachter unempfindlich machen. Die Arbeiter in der Gutta-Percha-Drahtfabrik zu Berlin, welche sich mit der Prüfung der angefertigten Drähte beschäftigen, haben oft nach vollbrachtem Tage in der Hand bis zum Arm hinauf das Gefühl verloren und sind dann eine Zeit lang unfähig, schwächere Schläge wahrzunehmen.

Der Elektromagnetismus in seiner Anwendung auf die Telegraphie.

214 **Die ersten Versuche einer Nadel-Telegraphie.** Noch in demselben Jahre, welches Oerstedt's glänzende Entdeckung bezeichnet, sprach sich Ampère (Ann. de phys. et de chim. t. XV. p. 72) über seine

Idee zu einem elektromagnetischen Telegraphen folgendermaßen aus: »Mittelst eben so vieler Magnetnadeln und Leitungsdrähte, als es Buchstaben giebt und mit Hülfe einer entfernt stehenden Volta'schen Säule, deren Pole man nach einander mit den Enden der Leitungsdrähte verbindet, kann man, indem jede Nadel ein besonderes Zeichen trägt, einen Telegraphen herstellen, durch welchen man einer entfernt stehenden Person, die mit der Beobachtung der Nadeln und ihrer Zeichen beauftragt ist, alle möglichen Mittheilungen machen. Wenn man bei der Säule ein Tastenwerk anbrächte, deren Tasten mit denselben Buchstaben versehen sind, und welche die Säule durch ihr Niedergehen schließen, so könnte dieses Correspondenz-Mittel mit großer Leichtigkeit gehandhabt werden und würde nicht mehr Zeit erfordern, als nöthig wäre, um auf der einen Station die Tasten niederzudrücken, und auf der andern jeden abgelenkten Buchstaben abzulesen.«

Ritchie (Froriep's Notizen, Bd. 27, Nr. 6, S. 86) führte den Ampère'schen Vorschlag mit einer zweckmäßigen Abänderung im Modelle aus. Dreißig Nadeln umgab er mit Multiplicatoren; jede Nadel trug einen leichten Schirm, welcher in dem Ruhezustande der Nadel einen Buchstaben bedeckte und denselben sehen ließ, sobald die Nadel unter dem Einflusse eines Stromes abgelenkt wurde.

Aehnliche Vorschläge gingen von Fechner (Dessen Lehrb. des Galvanismus, Leipzig 1829, S. 269, und Dessen Repert. d. Exp.-Phys., 1832, I. S. 403) aus, und später haben Davy und Alexander in England derartige Nadelapparate im Kleinen zur Ausführung gebracht, in denen sämmtliche Multiplicatoren einen einzigen, gemeinsamen Rückleitungsdraht hatten und also die ganze Drahtleitung beinahe auf die Hälfte reducirt war.

Erst im Jahre 1832 gelang es dem russischen Staatsrathe Schilling von Cannstatt (Ampot in Abhandl. der Par. Akad. der Wissensch. vom 9. Juli 1838), die telegraphischen Vorrichtungen so zu vereinfachen, daß sie einer praktischen Ausführung fähig gewesen wären. Er wandte nämlich nur einen einzigen Multiplicator mit einer Nadel, überhaupt also nur zwei Leitungsdrähte an und konnte nun durch geeignete Combination von mehreren, bald links, bald rechts erfolgenden Nadelablenkungen alle erforderlichen Zeichen hervorbringen. Aber auch er hat es nicht vermogt, die mit der Ausführung seiner Ideen im Großen verbundenen Schwierigkeiten zu überwinden.

Die Nadeltelegraphen.

215 **Nadeltelegraph von Gauß und Weber.** So bleibt also die Ehre, den ersten brauchbaren elektrischen Telegraphen angelegt zu haben, den beiden deutschen Physikern Gauß und Weber vorbehalten, welche 1833 einen vereinfachten Apparat zum erstenmale im Großen zur Ausführung brachten und anstatt der bisher üblichen Volta'schen Säule den Inductionsstrom anwandten.

Ihr telegraphischer Apparat bestand aus einem Inductor, zur Erzeugung des Inductionsstromes, aus einem Commutator und einem Observations-Apparate. Der Inductor war eine aus 1050, später aus 3537 Umwindungen bestehende Drahtrolle, welche an zwei Griffen auf drei zusammengelegte 25pfündige Magnetstäbe rasch aufgestürzt und wieder davon abgezogen werden konnte. Die beiden Enden dieser Drahtrolle standen in Verbindung mit einem Commutator und durch diesen mit den zwei isolirten Leitungsdrähten, welche Weber über die Häuser und Thürme der Stadt Göttingen zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinette ausgespannt hatte. An dem andern Ende waren diese Leitungsdrähte mit dem Drahtgewinde des Observations-Apparates verbunden. Dieser letztere war ein Gauß'sches Magnetometer, bestehend aus einem kräftigen Multiplicator mit 4—25pfündigem Magnetstabe, Spiegel und Fernrohr, durch welches die Zuckungen des Magnetstabes beobachtet wurden, welche durch die auf der entgegengesetzten Station erzeugten Inductionsströme hervorgerufen wurden. Dort entstanden nämlich durch ein rasch hintereinander folgendes Aufstürzen und Abziehen der Inductor-Rolle zwei einander entgegengesetzte Inductionsströme, in Folge deren auf der andern Station der Magnetstab innerhalb des Multiplicators keine weite Excursion machen konnte, vielmehr nach einer kleinen Zuckung sogleich wieder in seine Ruhelage zurückkehren mußte. Vermittelst des Commutators konnte bei gleichbleibender Erregungsweise des Stromes dem nach dem Fernrohre hin gerichteten Magnetpole eine Ablenkung nach der Rechten oder nach der Linken gegeben werden.

Durch Combination dieser zwei Elementarzeichen wurde das Alphabet gebildet, welches, da höchstens vier dieser Zeichen in einer einzigen Gruppe vorkamen, aus 30 Signalen, 20 Buchstaben und 10 Ziffern bestanden.

Indem Steinheil das Princip des Gauß'schen Telegraphen (Nadelablenkung und Inductionsstrom) beibehielt, wandte er als Stromerreger eine Clarke'sche Magneto-Elektrisirmaschine und als Zeichengeber zwei innerhalb desselben Multiplicators aufgehängte Magnete an, welche von

der entfernten Station aus einzeln nach der Willkür des Telegraphisten abgelenkt werden konnten und dann die Elementarzeichen entweder auf einen Papierstreifen abdruckten oder durch Anschlagen von Glocken hörbar angaben. Auf diese Weise entstand der erste Drucktelegraph, dessen an dieser Stelle nur vorübergehend Erwähnung geschieht, weil er seiner Einrichtung nach unter die Drucktelegraphen gehört. Es muß jedoch hinzugefügt werden, daß Steinheil bei den Versuchen, die er im Sommer 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn anstellte, um zu erfahren, ob sich die beiden Gleise einer Eisenbahn als Leitung für den Telegraphen benutzen lassen, zu der folgereichen Entdeckung gelangte, daß das Erdreich selbst sich als Leiter für den Strom benutzen lasse und dadurch die Hälfte der Leitungskette erspart werden könne. Anstatt daher einen doppelten, hin- und zurücklaufenden Leitungsdraht anzuwenden, verband er auf jeder Station die Enden eines einzigen Drahtes mit einer großen, in das feuchte Erdreich eingegrabenen Metallplatte (gegenwärtig Erdplatte genannt) und ersetzte auf diese Weise die zweite Hälfte des Drahtes durch die zwischen den beiden Erdplatten befindliche feuchte Erdschicht. (Astronom. Jahrb. von Schuhmacher für 1839, S. 171).

Steinheil ist daher als der Erfinder der Drucktelegraphen und als Entdecker der galvanischen Erdleitung zu bezeichnen.

Cooke und Wheatstone. Die ersten Telegraphen von Cooke, der 216
bei der Construction derselben zunächst nur Eisenbahnzwecke verfolgte, bestanden aus einer einzigen, innerhalb eines Multiplicators aufgehängten Magnetnadel, deren zwei einfache Ablenkungen die auf einen Dampfwagenzug bezüglichen Worte »her« und »hin« bezeichneten. Später nahm er zwei Nadeln mit acht Signalen und führte ein solches System auf der Edingburg-Glasgow-Eisenbahn aus. Im Juni 1837 nahm er in Verbindung mit Wheatstone für England ein Patent auf einen zusammengesetzten Apparat mit fünf Nadeln und fünf Leitungsdrähten, der zwar bei Weitem vollkommener und bequemer war, als die früheren, aber im Vergleich zu den um dieselbe Zeit in Deutschland bestehenden Einrichtungen von Steinheil als unpraktisch und hinsichtlich der Leitung als höchst kostspielig bezeichnet werden muß. Er kam zwar auf eine Länge von 39 engl. Meilen auf der Great-Western-Eisenbahn zur Ausführung, aber die Kosten waren so bedeutend, daß eine weitere Fortsetzung der Linie unterbleiben mußte.

Bei diesem Systeme stand auf jeder Station ein Rahmen mit fünf Multiplicatoren und Nadeln, nebst einer Claviatur von eben so vielen Tasten und der Batterie. Die Multiplicatoren standen einerseits mit die-

sen Tasten, andererseits mit den fünf Leitungsdrähten in Verbindung und konnten durch Niederdrücken der Tasten mit der Batterie verbunden werden. In jedem Falle wurde der Strom gleichzeitig durch je zwei Multiplicatoren geleitet und dadurch wurden stets zwei Nadeln zugleich abgelenkt, jedoch nie in paralleler Richtung. Die 20 Convergenzpunkte dieser Ablenkungsrichtungen waren mit Buchstaben bezeichnet; eine jede Ablenkung gab daher direct den gewünschten Buchstaben an. — Durch Vermehrung der Anzahl der Leitungsdrähte um einen sechsten wurden später noch fünf Signale hinzugenommen (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 56, 144 u. 213.)

217 **Cooke und Wheatstone's neuester einfacher und Doppelnadel-Apparat.** Die Mängel des vorigen Apparates wurden sehr bald bemerklich; die vielen Leitungsdrähte machten die Anlage einer Linie sehr kostspielig und waren auf die Dauer nicht in demjenigen Zustande der Isolation zu erhalten, der für ein verläßliches Arbeiten durchaus nothwendig war. Die Erfinder gaben daher ihr System auf und indem sie auf das directe Signalisiren der Buchstaben verzichteten, adoptirten sie das Gauß'sche System und stellten die Signale durch Combination der zwei Ausschläge von einer oder höchstens von zwei Magnetnadeln dar.

Die Fig. 186 (s. f. S.) zeigt die vordere Ansicht eines Nadeltelegraphen mit der Signalscheibe. Ein verticalstehender Multiplicator befindet sich innerhalb des Gehäuses, auf dessen Außenseite sich das Zifferblatt und ein Zeiger befindet. Unterhalb desselben ist ein Griff angebracht, durch dessen Drehung nach rechts und nach links die Richtung des Stroms im Multiplicator so regulirt wird, daß der Zeiger auf diesem Zifferblatte immer diesem Griffe parallel nach der Rechten oder der Linken abgelenkt wird. Zur Seite der Nadel befinden sich kleine Anhaltstifte, welche den Ausschlag der Nadel innerhalb einer kleinen Gränze gestatten.

Die innere Einrichtung dieses Apparates ist aus Fig. 187 (s. f. S.) zu ersehen. *A* ist der Multiplicator, welcher durch einen etwa 400 Fuß langen dünnen übersponnenen Kupferdraht gebildet wird, der auf einem Rahmen von dünnem Messingblech aufgewunden ist. Die beiden Abtheilungen der Multiplicatorwindungen sind in unserer Zeichnung absichtlich etwas weiter auseinander gerückt, als es in der Wirklichkeit sein darf, damit die Einrichtung besser übersehen werden kann. Eine horizontale, durch die Mitte des Rahmens hindurchgehende Axe trägt nun zwei Nadeln, von denen die eine, innerhalb des Rahmens liegend, theilweise in unserer Figur sichtbar ist, während die andere, auf der Vorderseite des Kastens liegend, zugleich als Zeiger dient. Beide Magnetnadeln sind

Fig. 186.

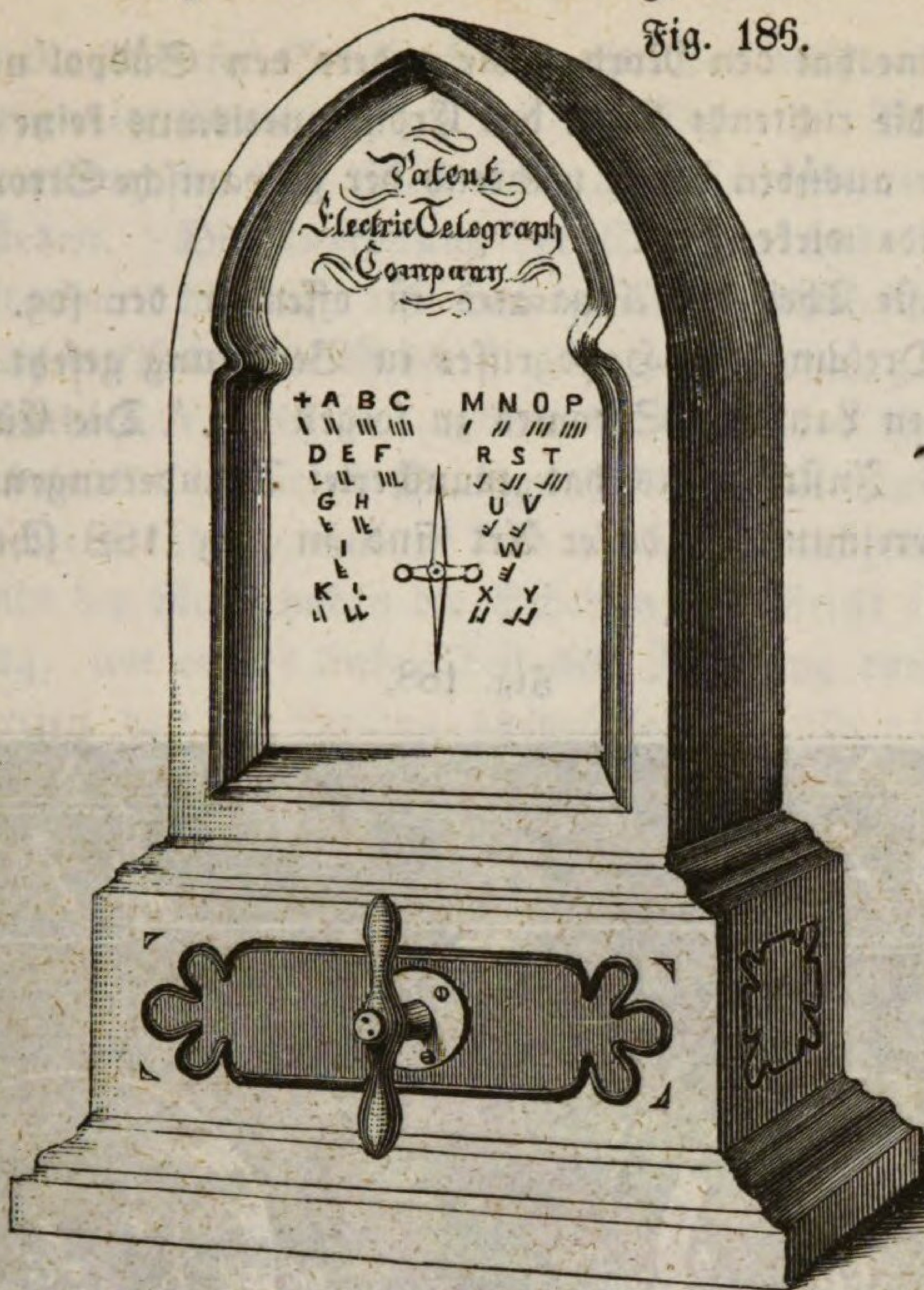
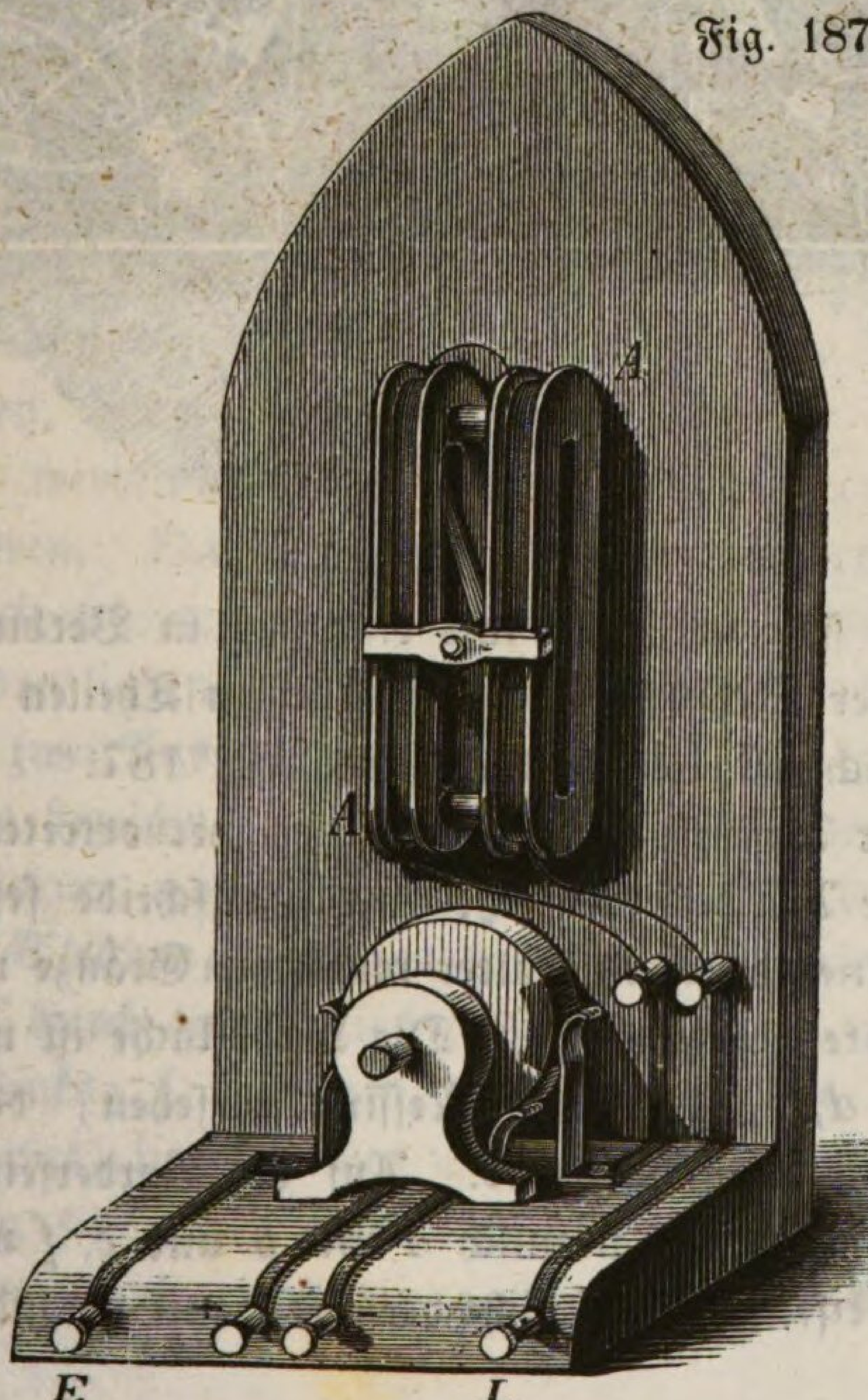


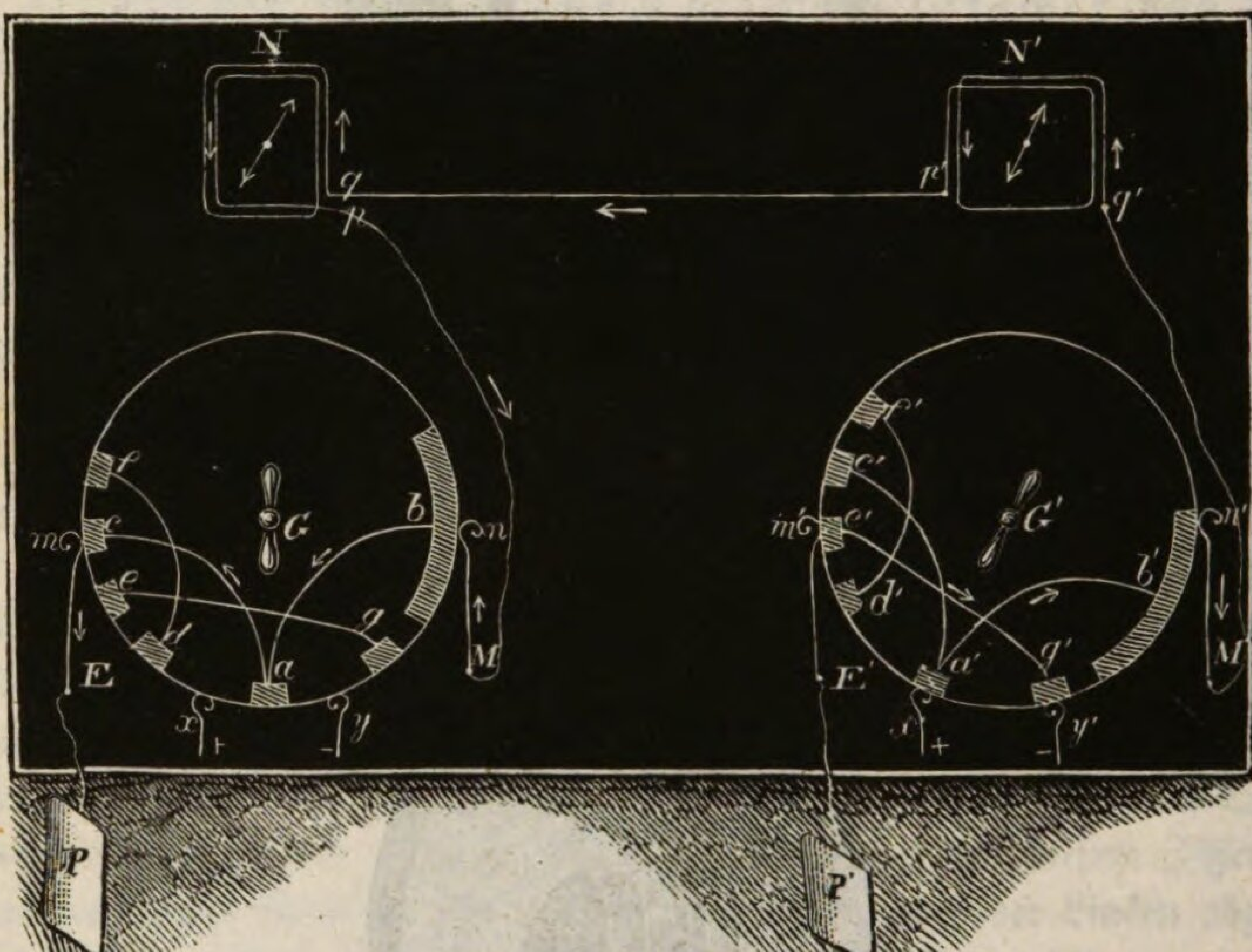
Fig. 187.



parallel; die eine hat den Nord-, die andere den Südpol nach unten gekehrt, so daß die richtende Kraft des Erdmagnetismus keine Wirkung auf das Nadelpaar ausüben kann, während der galvanische Strom in gleichem Sinne auf beide wirkt.

Der wichtigste Theil des Apparates ist offenbar der sog. **Schlüssel**, der durch die Drehung des Handgriffes in Bewegung gesetzt wird und der für den richtigen Lauf des Stromes zu sorgen hat. Die Einrichtung dieses Theils des Instruments hat mancherlei Abänderungen erlitten; die einfachsten Vorrichtungen dieser Art sind in Fig. 188 schematisch abgebildet.

Fig. 188.



Die Figur bezieht sich auf zwei mit einander in Verbindung stehende Stationen. Wie der Schlüssel mit den übrigen Theilen des Apparates in Verbindung gebracht ist, ersieht man aus Fig. 187.

G ist der auf der Außenseite des Gehäuses hervortretende Griff des Schlüssels. Auf der Axe desselben sitzt eine Holzscheibe fest, welche sich demnach innerhalb einer durch Aufhälter markirten Gränze nach der Rechten und nach der Linken drehen läßt. Die Randfläche ist mit sieben Contactstücken, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, von Messing versehen, deren Zwischenräume durch Elfenbein ausgefüllt sind. Auf der Vorderseite der Scheibe sind einige dieser Contactstücke, nämlich *a* mit *b* und *c*, *f* mit *d*, sowie *e* mit *g* durch Metallstreifen, die sich nicht berühren, mit einander verbunden.

Gegen den Rand dieser Scheibe federn vier Contactfedern, x, y, m, n, von denen die zwei ersteren, x, y, mit den Polen der Batterie, m mit der Erdplatte und n mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes N in Verbindung stehen. Die Anordnung der Scheiben und ihrer Federn ist auf beiden Stationen dieselbe, mit dem alleinigen Unterschiede, daß auf der einen Station (links) die Feder n mit dem Anfangspunkte p des Multiplicatordrahtes N, auf der andern Station aber dieselbe Feder n' mit dem Endpunkte q' dieses Drahtgewindes N' verbunden ist. Die beiden andern Drahtenden q und p' sind an dem Leitungsdrahte befestigt.

Im Zustande der Ruhe haben die Scheiben und Griffe G, G' die verticale Stellung, wie es der linke Theil der Zeichnung darstellt. Dabei sind die Batterien von der Leitung ausgeschlossen, also offen, da ihre Polfedern x, y nicht mit dem Metalle der Schlüssel in Berührung stehen.

Wird aber, wie es bei G' zu sehen ist, der Schlüssel so gedreht, daß der obere Theil des Griffes nach der Rechten zeigt, so wird dadurch die Batterie dieser Station in die Leitung eingeschaltet und der Strom circulirt in der Richtung:

Pol $+\ x'\ a'\ b'\ n'\ M'\ q'\ p'$, Leitung, $q\,p\,M\,n\,b\,a\,c\,m\,E\,P$, Erde, $P'\ E'\ m'\ e'\ g'\ y'$ — Pol.

Die Art der Windungen der Multiplicatoren N, N' ist nun eine solche, daß bei dieser Richtung des Stromes die Nadeln dieselbe Ablenkung erleiden, welche dem Griffe G' gegeben war.

Eine Drehung des Griffes G' von der verticalen Stellung aus nach der Linken würde den Strom in folgender Richtung durch die Apparate senden: Pol $+\ x'\ d'\ f'\ m'\ E'\ P'$, Erde, $P\,E\,m\,c\,a\,b\,n\,M\,p\,q$, Leitung, $p'\,q'\,M'\,n'\,b'\,a'\,y'$ — Pol, also in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung, woher dann die Nadeln in entgegengesetzter Richtung, d. h. links abgelenkt werden.

Die Zeichen werden nun durch verschiedenartig combinirte Ausschläge der Nadel gegeben. Das Alphabet ist auf der vordern Seite des Instruments selbst aufgezeichnet. \ bezeichnet einen Ausschlag des obern Nadelendes nach der linken, / ein solches nach der rechten Seite. So ist z. B. A durch zwei Ausschläge nach der linken, N durch zwei Ausschläge nach der rechten bezeichnet. — Ein Theil der schrägen Striche ist halb so lang als die übrigen, wodurch ausgedrückt sein soll, daß unter den zusammenhängenden Strichen die kurzen zuerst zu signalisiren sind; so ist z. B. ausgedrückt: E durch rechts, links, links; I ist ausgedrückt durch rechts, rechts, rechts, links; L = rechts, links, rechts, links; R = links, rechts; Y = links, rechts, links, rechts u. s. w.

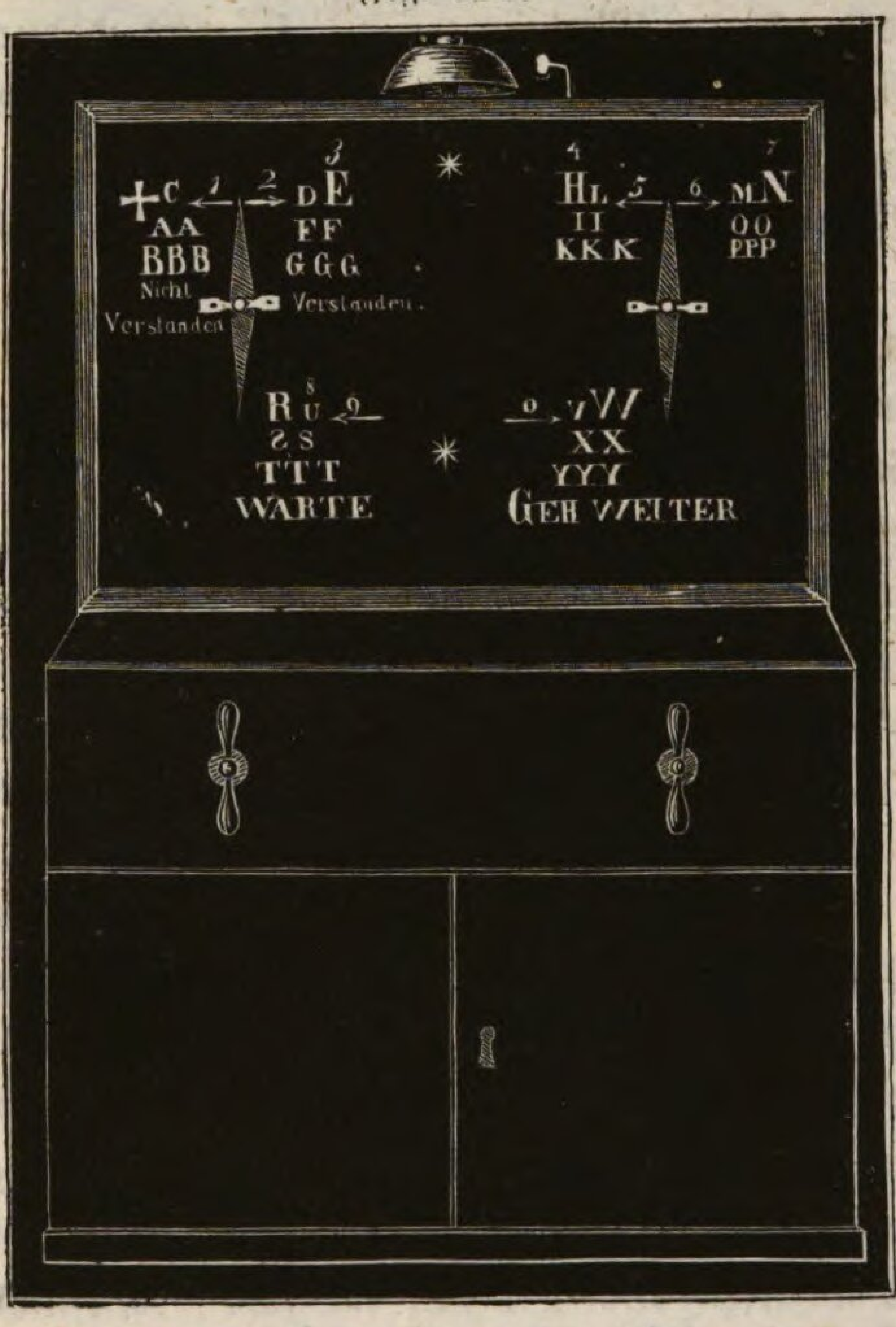
Diese Zeichen sind zum Theil etwas complicirt und ihre Ausführung ist ziemlich zeitraubend, weil ein großer Theil der Buchstaben drei und

vier Ausschläge erfordert. Diesem Uebelstande ist nun durch den Doppelnadel-Telegraph abgeholfen; ein solches Instrument hat zwei Multiplicatoren der beschriebenen Art, zwei Nadelpaare, zwei Schlüssel u. s. w.; kurz, es ist als die Combination zweier einfacher Nadel-Telegraphen zu betrachten. Es erfordert natürlicherweise außer der Erdleitung noch zwei Leitungsdrähte, außerdem noch eine Glocke nebst Uhrwerk (Alarm), um durch Klingeln auf den Anfang des Telegraphirens aufmerksam zu machen. Ueber die Einrichtung dieses Läutewerkes später.

Solche Doppelnadel-Instrumente arbeiten gegenwärtig fast auf allen Telegraphenlinien Englands, so wie zum größten Theile auch in Belgien und andern Ländern.

Fig. 189 zeigt die Vorderansicht eines solchen Apparates mit der Signalscheibe.

Fig. 189.



Die auf der oberen Hälfte des Zifferblatts befindlichen Zeichen werden durch das Ausschlagen einer einzigen Nadel, die unteren Zeichen aber durch beide Nadeln hervorgebracht.

Die linke Nadel giebt durch einmaliges Ausschlagen nach links +, als Zeichen für das Wortende, nach rechts *E*; durch zweimaliges Ausschlagen nach links *A*, nach rechts *F*; durch dreimaliges Ausschlagen nach links *B*, nach rechts *G*; durch zwei Ausschläge erst rechts, dann links *C*, erst links, dann rechts *D*. Auf dieselbe Weise giebt die rechte Nadel die Buchstaben *H*, *N*, *I*, *O*, *K*, *P*, *L*, *M*. Eine parallele Bewegung beider Nadeln mit ihren untern Enden giebt die untern Zeichen an und zwar durch ein einmaliges Ausschlagen nach links *R*, nach rechts *W*; durch zweimaliges Ausschlagen nach links *S*, nach rechts *X*, durch dreimaliges Ausschlagen nach links *T*, nach rechts *Y*.

Außerdem befinden sich noch auf dem Zifferblatte die Ziffern und die Worte »Verstanden«, »Nicht verstanden«, »Warte«, »Geh weiter«. Der Zeichengeber giebt nach jedem Wortende +, worauf der Empfänger das Zeichen *E* giebt, wenn er verstanden hat, und + giebt, wenn er nicht verstanden hat.

Der Uebergang von den Buchstaben zu den Ziffern wird von dem Geber dadurch angezeigt, daß er nach dem Wortende + ein *H* und sogleich darauf wieder + signalisirt; der Uebergang von den Ziffern zu den Buchstaben erfolgt auf demselben Wege. Die Ziffern werden durch die am leichtesten darzustellenden Buchstaben repräsentirt, nämlich 1 = *C*, 2 = *D*, 3 = *E*, 4 = *H*, 5 = *L*, 6 = *M*, 7 = *N*, 8 = *R*, 9 = *U*, 0 = *V*.

Der Uebergang von der öffentlichen Correspondenz zur geheimen mittelst des Signallexicons wird durch die Reihenfolge der Zeichen + *N* + angezeigt.

Ist der Telegraphist bei der Ankunft einer Depesche bereits beschäftigt, oder wird er sonst unterbrochen, so giebt er durch die Zeichen + *R* + das Signal »Warte«; ist er im Stande, die Depesche entgegenzunehmen, so giebt er durch + *W* + das Signal »Geh weiter«.

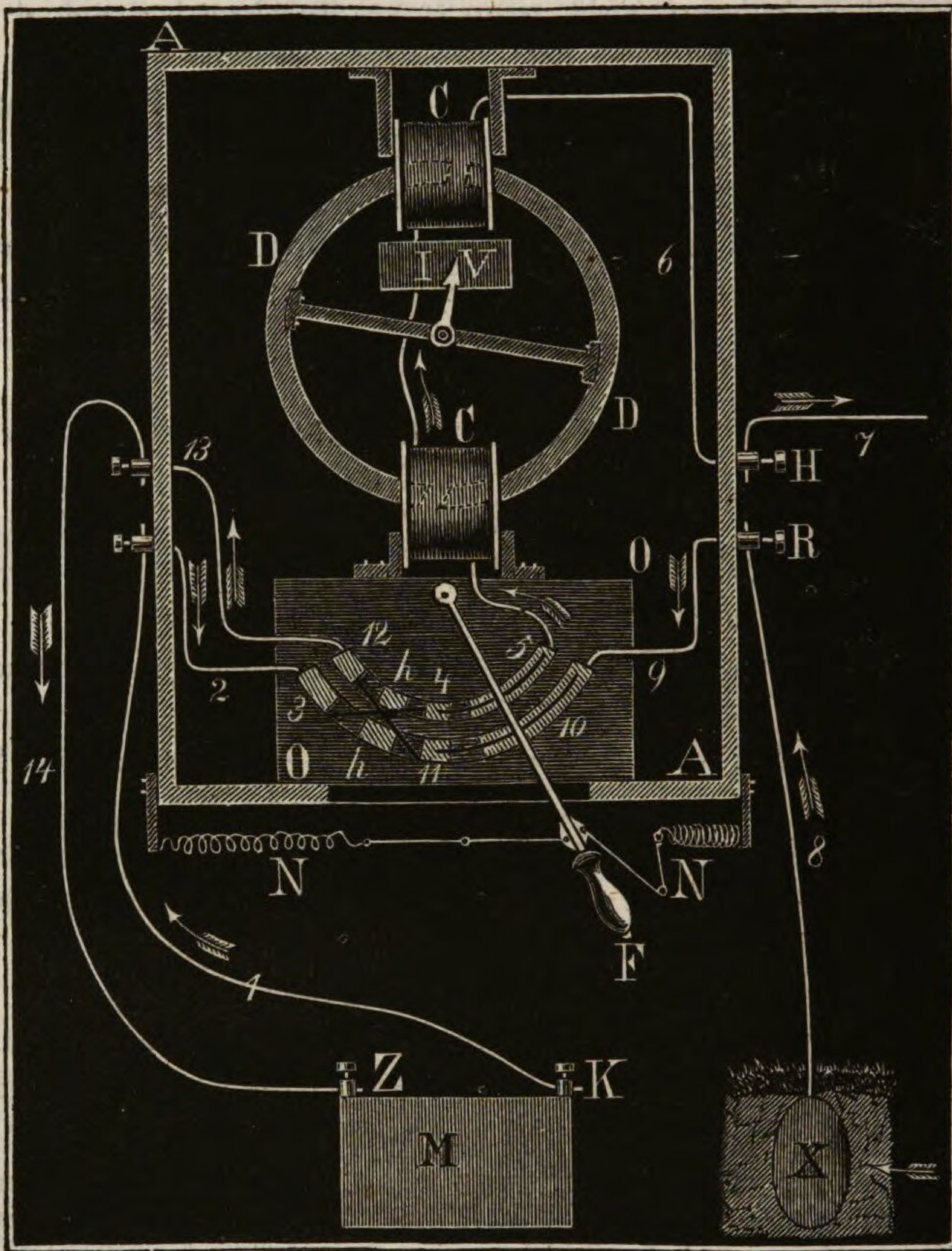
Auch in Oesterreich bedient man sich gegenwärtig noch der Nadelapparate, jedoch von einer andern durch A. Bain aus Edinburg erfundenen Construction (Dinglers Journ. Bd. 101. S. 75). Bain wendet nur eine einzige Nadel an und combinirt das Alphabet und die Ziffern durch Gruppen von höchstens vier Nadelausschlägen.

Fig. 190 (s. f. S.) zeigt die innere Einrichtung dieses Apparats.

Zwei halbkreisförmige Stahlmagnete bilden einen an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen unterbrochenen Kreis und sind zu dem Ende an einer um eine horizontale Axe drehbaren Messingstange befestigt, welche den Durchmesser des Magnetkranzes bildet. Die Unterbrechungsstellen zwischen den beiden mit gleichnamigen Polen einander genäherten Magneten liegen in der Höhlung zweier Holzspuhlen, welche von einem einzigen continuirlichen Kupferdrahte umwunden sind: das eine Ende desselben steht in fester Verbindung mit der Leitung, das andere mit einem Commutator, dessen Aufgabe darin besteht, bald dem von der andern Station kommenden Strome freien Durchgang durch die Drahtspulen zu verschaffen, bald auch den Strom der eigenen Batterie nach Willkür in der einen oder der andern Richtung durch die Leitung hindurchzusenden. Der Bain'sche Commutator ist zwar sinnreich, aber nicht bequem beim schnellen Operiren; er ist daher in den östreichischen Staatstelegraphen durch eine von dem Mechanikus Ekling in Wien erfundene, in Fig. 191 (s. S. 571) abgebildete Vorrichtung ersetzt.

Die beiden Drahtspulen und ihre Magnete liegen in dem Kästchen *C*; die verlängerte Axe *i* der letztern trägt den Zeiger *P*, der bald auf *I*, bald

Fig. 190.

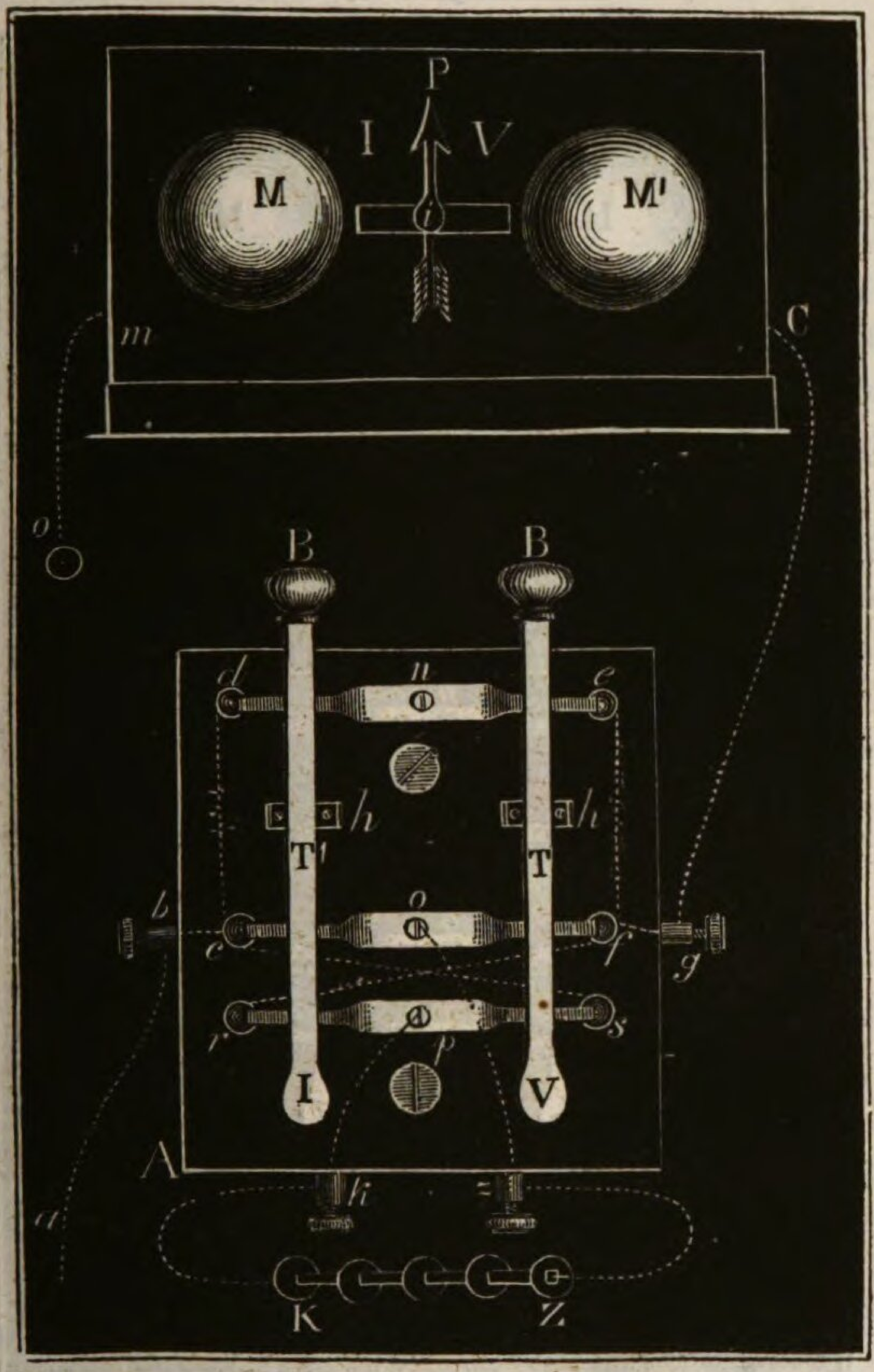


auf *V* zeigt und dabei zugleich gegen die verschieden gestimmten Metallglöckchen *M*, *M'* anschlägt.

A ist der Commutator; *T*, *T'* zwei um *h*, *h* drehbare Handhaben, welche durch die Bleistücke *B B* im Ruhestande abwärts liegen, die Feder *n* mit *d* und *e* in Berührung erhalten, dagegen die Federn *o* und *p* frei lassen, so daß diese nicht mit den Contactstücken *c*, *f*, *r*, *s* in Verbindung stehen. *KZ* stellt die Batterie dar; bei *C* tritt das eine Ende des die Holzspulen umwindenden Drahtes aus dem Kästchen und geht zu *g* des Commutators, bei *m* das andere und geht in *o* zu dem Leitungs-

drahte; *b a* führt zu der Erdplatte; die metallische Verbindung der Federn und der einzelnen Contactstücke ist durch punktirte Linien angezeigt.

Fig. 191.

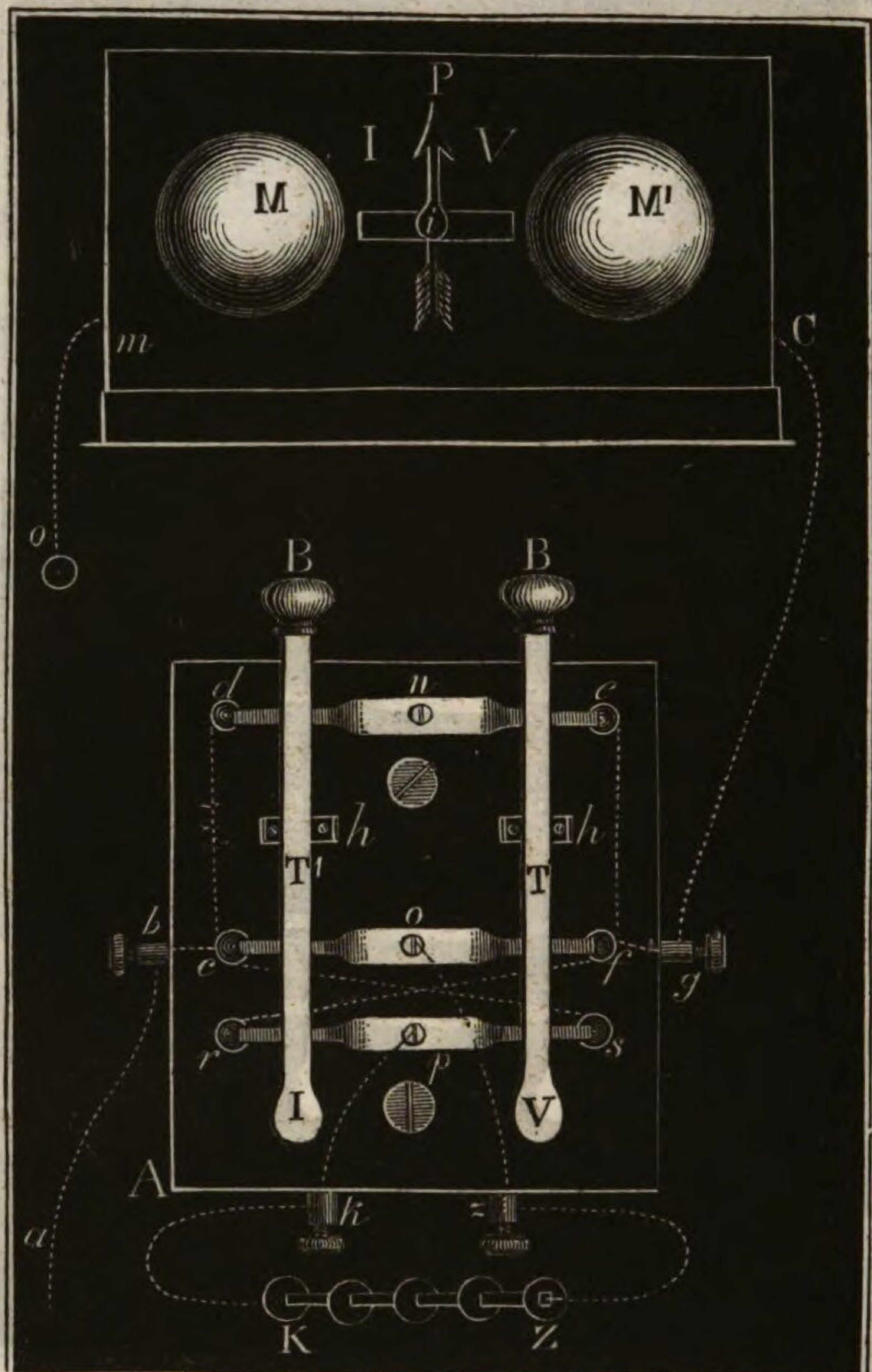


Im Ruhezustande, wo für das Ankommen einer Depesche die Leitung geschlossen, die Batterie offen sein muß, liegen *BB* nieder. Ein von der andern Station kommender Strom tritt bei *o* und *m* in den Apparat, circulirt um die Holzspulen, tritt bei *C* aus und bei *g* in den Commutator und von hier über *f*, *e*, *d*, *c* und *b* durch *b a* in die Erde, um zu der andern Station zurückzugelangen. Es wird dadurch der Zeiger *P* je nach der Richtung des Stromes auf *I* oder *V* abgelenkt.

Will der Telegraphist der entfernten Station das Zeichen *I* geben, so drückt er die Taste *I* nieder; der Strom der Batterie *KZ* nimmt dann

die Richtung durch *Kkprfgcm* zu der Leitung und zu der andern Station, durchläuft dort den Apparat in der vorhin angegebenen Weise,

Fig. 192.



kommt durch den Erddraht bei *b* wieder zurück und gelangt über *c*, *o*, *z* zu dem Pole *Z* der Batterie. Ein Niederdrücken der Taste *V* würde den Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Apparate und die Leitung geführt haben, was sogleich ersichtlich ist, wenn man bemerkt, daß dann *n* mit *d* und *c*, *f* mit *o* und *z*, *s* mit *p* und *k* in Verbindung steht, während *c* mit *o* und *z*, *r* mit *p* und *k* nicht mehr leitend verbunden ist.

Die Zeigertelegraphen oder die rotirenden Telegraphen.

Die zweite große Classe von elektrotelegraphischen Vorrichtungen um- 218
faßt diejenigen Apparate, in denen ein Zeiger durch irgend welchen Mechanismus vor einer mit Buchstaben und Ziffern besetzten Scheibe rund läuft und nach der Willkür des entfernt stehenden Telegraphisten vor dem einen oder dem andern dieser Zeichen angehalten werden kann.

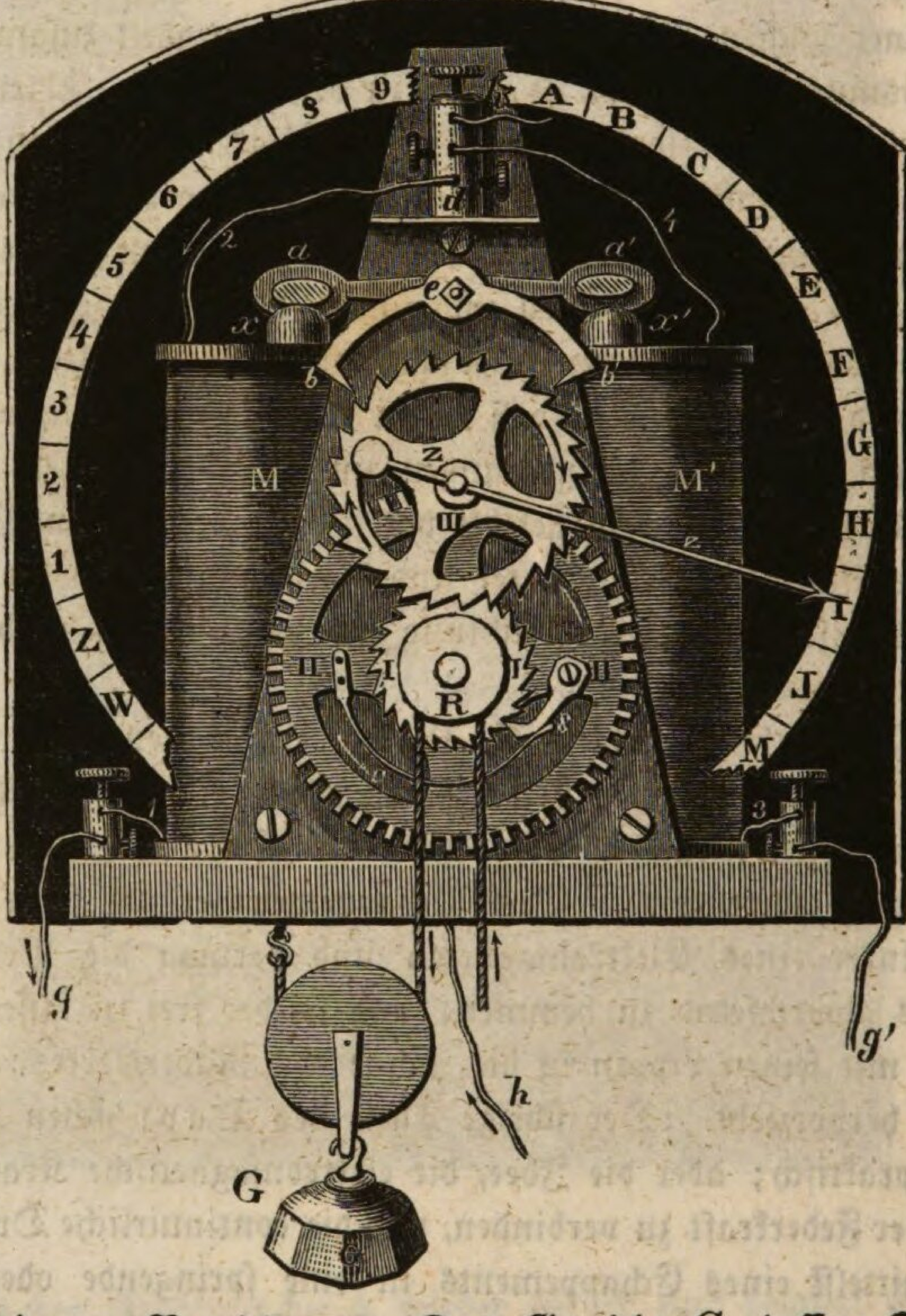
Da zu einer solchen Bewegung des Zeigers ein weit zusammengesetzterer Mechanismus erforderlich ist, als zu der einfachen Ablenkung einer Magnetnadel, und insbesondere die Gleichmäßigkeit des Ganges und die fortdauernde Uebereinstimmung der Zeiger zweier correspondirender Apparate nur durch ganz eigenthümliche Einrichtungen erzielt werden kann, zugleich aber auch gut, d. h. schnell und sicher, arbeitende Zeigertelegraphen gegenwärtig den entschiedensten Vorzug vor allen Nadeltelegraphen verdienen, so wird man begreifen, daß es an den mannichfaltigsten Vorschlägen von neuen, oder an Abänderungen und Verbesserungen von bereits bekannten Zeigersystemen nicht gefehlt hat. Trotz der großen Vollkommenheit der preußischen Zeigerapparate, sind die Bemühungen der ausgezeichnetsten Mechaniker nach dieser Richtung hin gegenwärtig noch nicht zum Abschluß gekommen.

Am 4. Januar 1839 erhielt E. Davy ein Patent auf einen Telegraphen, in dem ein System von Rädern durch ein ablaufendes Gewicht in Bewegung gesetzt, zugleich aber durch ein Echappement oder eine Hemmung regulirt wird. Das Echappement erhält seine Bewegung durch den Anker eines Elektromagneten und vermag die Bewegung des Räderwerkes abwechselnd zu hemmen, und wieder frei zu lassen, je nachdem es sich mit seinen Lippen in die Zähne des Räderwerkes einlegt oder sich daraus hervorzieht. Der übrige Theil des Davy'schen Telegraphen ist ganz unpraktisch; aber die Idee, die elektromagnetische Kraft mit einer Gewicht- oder Federkraft zu verbinden, und die continuirliche Drehung eines Rades vermittelst eines Echappements in eine springende oder absetzende zu verwandeln, war höchst fruchtbar. Ein Jahr später (1840) hatten diese Theile unter den Händen Wheatstone's in einem ganz neuen Signal-Apparate diejenigen praktischen Abänderungen erhalten, durch welche die elektromagnetische Telegraphie einer neuen Entwickelungsperiode entgegengeführt wurde.

Ein Wheatstone'scher Zeigerapparat mit seinen Haupttheilen, dem Communicator oder dem Zeichengeber und dem Indicator oder dem Zeichenbringer ohne Gewichtwerk, ist bereits in dem

Lehrbuch der Physik, 3. Aufl. II. S. 218 beschrieben. Wheatstone selbst übertrug die Bewegung des Indicators einem Laufwerke, welches, wenn es frei gewesen wäre, den Zeiger vor der Signalscheibe mit beschleunigter Geschwindigkeit herumgetrieben haben würde, aber in seinem Laufe durch ein Echappement bald arretirt, bald freigelassen wurde, und dadurch den Zeiger sprung- oder ruckweise von einem Buchstaben auf den andern fortschreiten ließ. Die Fig. 193 zeigt eine solche schon ver-

Fig. 193.



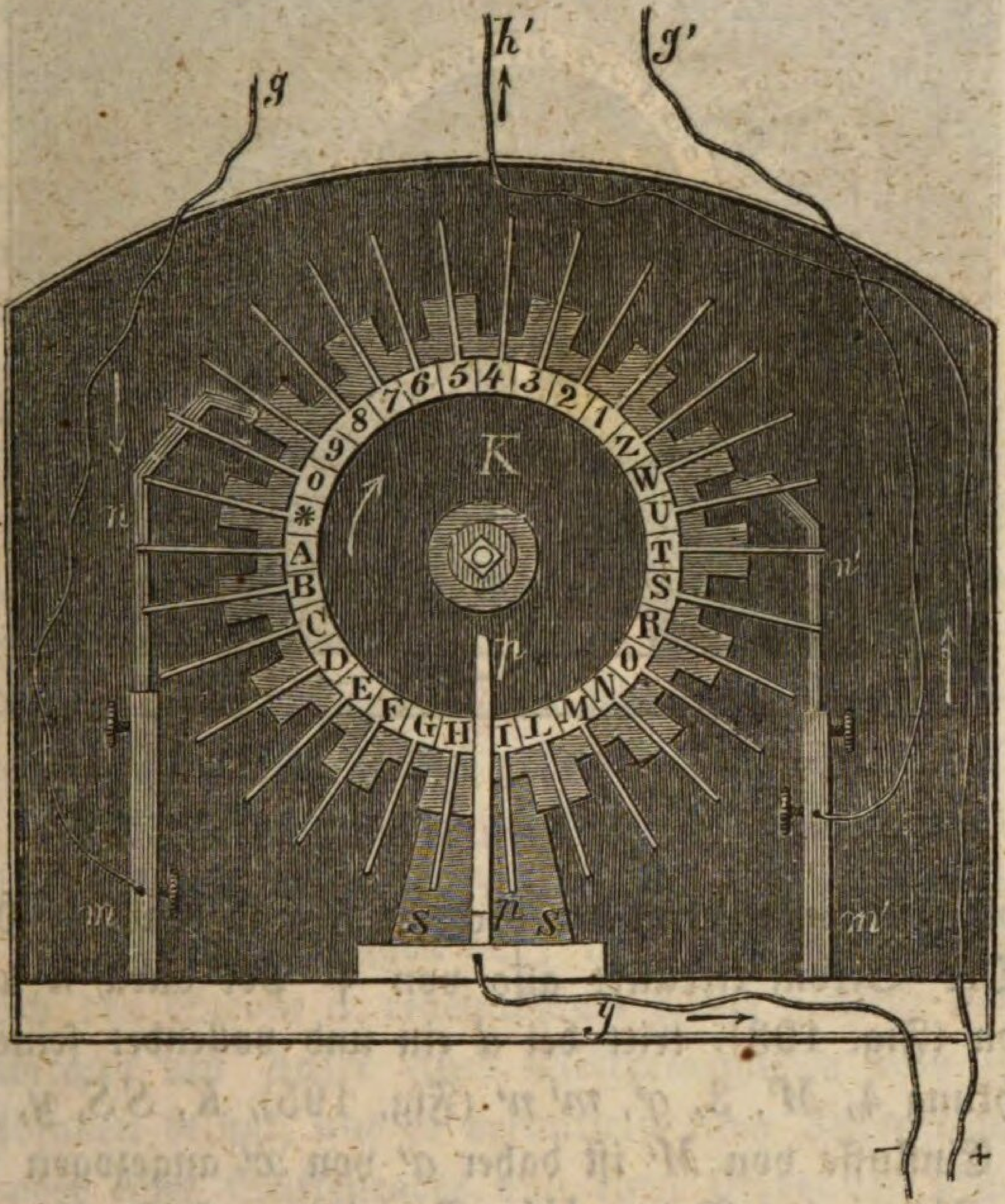
besserte Indicator-Vorrichtung. Das Gewicht G, dessen Schnur über die mit dem Sperrrade I verbundene Rolle R geschlungen ist, setzt die Räder II und III in Bewegung. Die Axe des letzten Rades geht nach der Vorderseite des Apparates durch denselben hindurch und trägt hier den Zeiger zz', welcher an dem auf dem Zifferblatte eingegrabenen Buchstaben und Ziffern vorbeiläuft.

Die Elektromagnete M, M' wirken abwechselnd mit ihren Polen x, x' auf den mit dem Echappement $b\,b'$ verbundenen zweiarmigen Hebel $a\,a'$,

so daß, wenn *a* von *x* angezogen ist, der Haken *b* in den Zähnen des Rades *III* einliegt, *b'* aber dieses Rad frei läßt. Die Enden 1, 3 der Umwindungsdrähte der Elektromagnete *M, M'* stehen durch Klemmen mit den zwei Leitungsdrähten *g, g'*, die beiden anderen Enden 2, 4 aber durch das Messingsäulchen *d* mit einem dritten Leitungsdrahte *h* in Verbindung.

Der Communicator Fig. 194 hat den Zweck, den Strom abwechselnd bald durch den Draht *g* um den Elektromagneten *M* (Fig. 193),

Fig. 194.

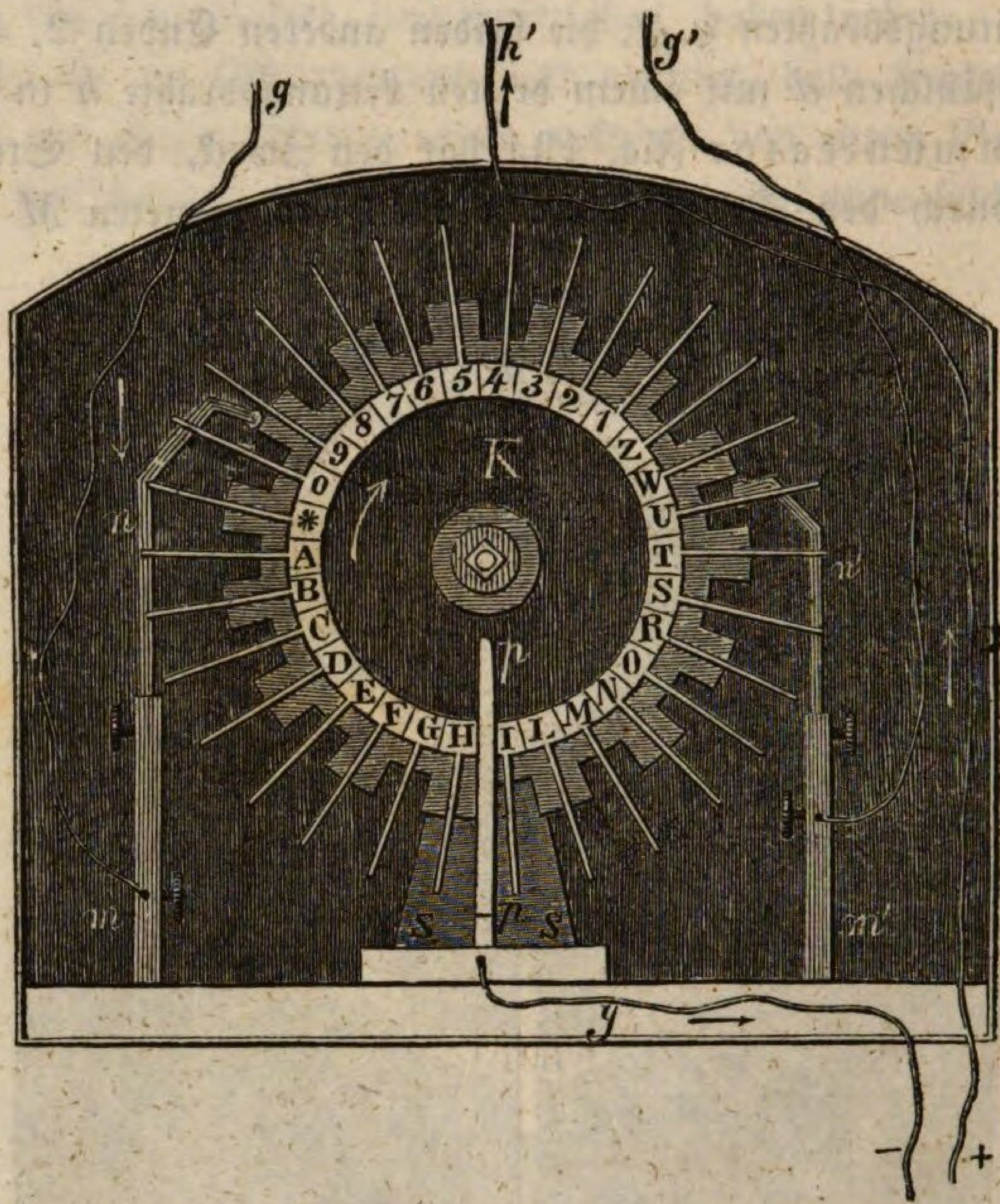


bald durch *g'* um *M'* zu leiten. Er besteht aus einer Messingscheibe *K*, deren Rand in regelmäßiger Folge halb so viele Ausschnitte enthält, als Zeichen auf der Indicatorscheibe vorhanden sind. *n, n'* sind zwei Messingfedern, deren Enden bei der Drehung der Scheibe *K* abwechselnd über die Oberflächen der Randvorsprünge und der Einschnitte leicht federnd hinweggleiten. Sie stehen mit den zwei Leitungsdrähten *g, g'* (Fig. 193) in Verbindung, während der messingene Ständer *SS*, auf dem die Axe der Scheibe ruht, durch einen Draht *y* mit dem — Pole der Batterie verbunden ist; der + Pol derselben steht mit dem dritten Leitungsdraht *h* in Verbindung.

Die Wirkungsweise eines solchen Zeigerapparats ist leicht zu übersehen. In der Ruhelage steht im Indicator (Fig. 193) der Zeiger *z z* auf dem

Zeichen ✱ zwischen 0 und A; im Communicator (Fig. 195) steht dem entsprechend die Speiche ✱ an dem Markirstäbchen pp. In dieser Stel-

Fig. 195.



lung steht die Feder $n'm'$ mit der Scheibe K und dem — Pole in Verbindung. Der Strom circulirt also von + Pol durch h nach der andern Station (Fig. 193), tritt bei d ein und vollendet seinen Kreislauf in der Richtung 4, M', 3, g', $m'n'$ (Fig. 195), K, SS, y, — Pol. — Unter dem Einflusse von M' ist daher a' von x' angezogen und b' liegt zwischen den Zähnen des Rades *III*. Das Uhrwerk ist also arretirt.

Stellt der entfernte Telegraphist, die Scheibe K links drehend, den Buchstaben A an die Marke pp, so verläßt $m'n'$ den Scheibenumfang und mn tritt mit ihm in Berührung; daher nimmt nun der Strom nicht mehr den Weg um M' des Indicators, sondern um M, indem er in der Richtung + Pol, h, d 2, M, 1, g, mn (Fig. 195), K, SS, y, — Pol seinen Kreislauf vollendet. Es wird daher a von x angezogen, das Rad *III* wird unter der Einwirkung des Gewichtes G so lange frei, bis der Zeiger zz auf das nächste Feld A gerückt ist, wo dann der Haken b die Zähne des Rades *III* erreicht hat und dasselbe so lange still hält, bis durch abermaliges Drehen des Communicators K die Richtung des Stromes wieder abgeändert und dadurch ein neues Fortrücken des Rades *III* und des Zeigers z möglich gemacht wird.

Es ist leicht einzusehen, daß in der Wirklichkeit der Leitungsdraht $h h'$ durch Anwendung von Erdplatten unter Benutzung der Leitkraft der Erde ganz in Wegfall kommt; auch wird jetzt in der Praxis einer der Elektromagnete, z. B. M', im Indicator durch eine auf den Arm a' wirkende Spiralfeder ersetzt, wodurch der zweite Draht g' wegfällt und der Telegraph zu seiner Bewegung nur eine einzige Drahtleitung erfordert. Gleichwohl war derselbe in dieser Einrichtung noch weit von demjenigen Grade der Vollendung entfernt, welcher ein schnelles und sicheres Arbeiten garantirt. So lange die Bewegung des Commutators oder des Speichenrades der menschlichen Hand überlassen blieb, war der Gang des Indicators oder des Zeigers vielen Unregelmäßigkeiten unterworfen; bald drehte der Telegraphist das Rad zu schnell, so daß der Zeiger nicht folgen konnte und die Depesche in Unordnung gerieth, oder zu langsam, so daß an Geschwindigkeit verloren ging.

Die nächsten Verbesserungen waren daher darauf gerichtet, den zeichengebenden Theil des Apparates der menschlichen Hand zu entziehen und die Bewegung desselben einem Uhrwerke zu übertragen. So entstanden die Zeigerapparate mit Communicator-Laufwerk (der Indicator konnte dabei ebenfalls ein Laufwerk haben oder auch nicht), unter denen der von Drescher erfundene und in seinem Schriftchen »die elektrische Telegraphie,« Kassel 1848. (Schellen's Tel. S. 143 f. f.) beschriebene, eine praktische Anwendung gefunden hat. Das Princip desselben besteht darin, daß ein Uhrwerk eine Scheibe, deren Rand abwechselnd Einschnitte und Hervorragungen hat, in regelmäßiger Bewegung rundumdreht, dadurch den Strom in regelmäßiger Folge herstellt und unterbricht, also im Indicator den Anker eines Elektromagneten bald zum Anziehen bald zum Abfallen bringt, und so vermittelst einer Ankerhemmung (wie in Fig. 192) oder eines Stiftenrades und einer Gabel den Buchstabenzeiger vor der Signalscheibe ruckweise rundtreibt. Die bewegte Scheibe kann durch Eindrücken von Knöpfen oder Tasten ganz nach der Willkür des arbeitenden Telegraphisten in Stillstand gesetzt, und dadurch gleichzeitig der Zeiger vor jedem beliebigen Buchstaben angehalten werden.

In dem gegenwärtig auf Eisenbahnen und auf kleineren Staatslinien in Preußen vielfach angewandten und sehr brauchbaren Zeigerapparate von Dr. Kramer (ausführlich in Schellen's Telegraph u. s. w. S. 185.) ist endlich die Communicatorscheibe ganz weggelassen und der ganze Mechanismus ist unter Beibehaltung eines Uhrwerkes auf eine große Einfachheit reducirt. Sein rascher und sicherer Gang, seine leichte Handhabung und die Einfachheit seines Mechanismus, machen ihn besonders für Eisenbahnlinien sehr brauchbar.

219 **Der Zeigerapparat von Siemens und Halske.** Die sinnreichsten und zugleich praktisch brauchbarsten Zeigerapparate sind gegenwärtig ohne Zweifel die von dem preuß. Ingenieur W. Siemens und dem Mechanikus M. J. Halske aus Berlin construirten und auf allen größeren Linien des preußischen Staates so wie in Braunschweig und in Belgien arbeitenden Vorrichtungen. Ohne Beihülfe eines Uhrwerkes durch die bloße Einwirkung eines galv. Stromes auf Elektromagnete setzt der Apparat einen Wecker und einen Zeiger in Bewegung, mit einer Sicherheit und einer Geschwindigkeit, die von den anderen durch Uhrwerke getriebenen Vorrichtungen nicht übertroffen wird.

Sowohl der Zeigerapparat als auch die Läutevorrichtung beruht auf dem bekannten Neef'schen Princip der Selbstunterbrechung des Stromes; das große Verdienst der genannten Erfinder besteht daher in der Art und Weise, wie sie dieses Princip zum sichern Betriebe eines Telegraphen angewandt haben.

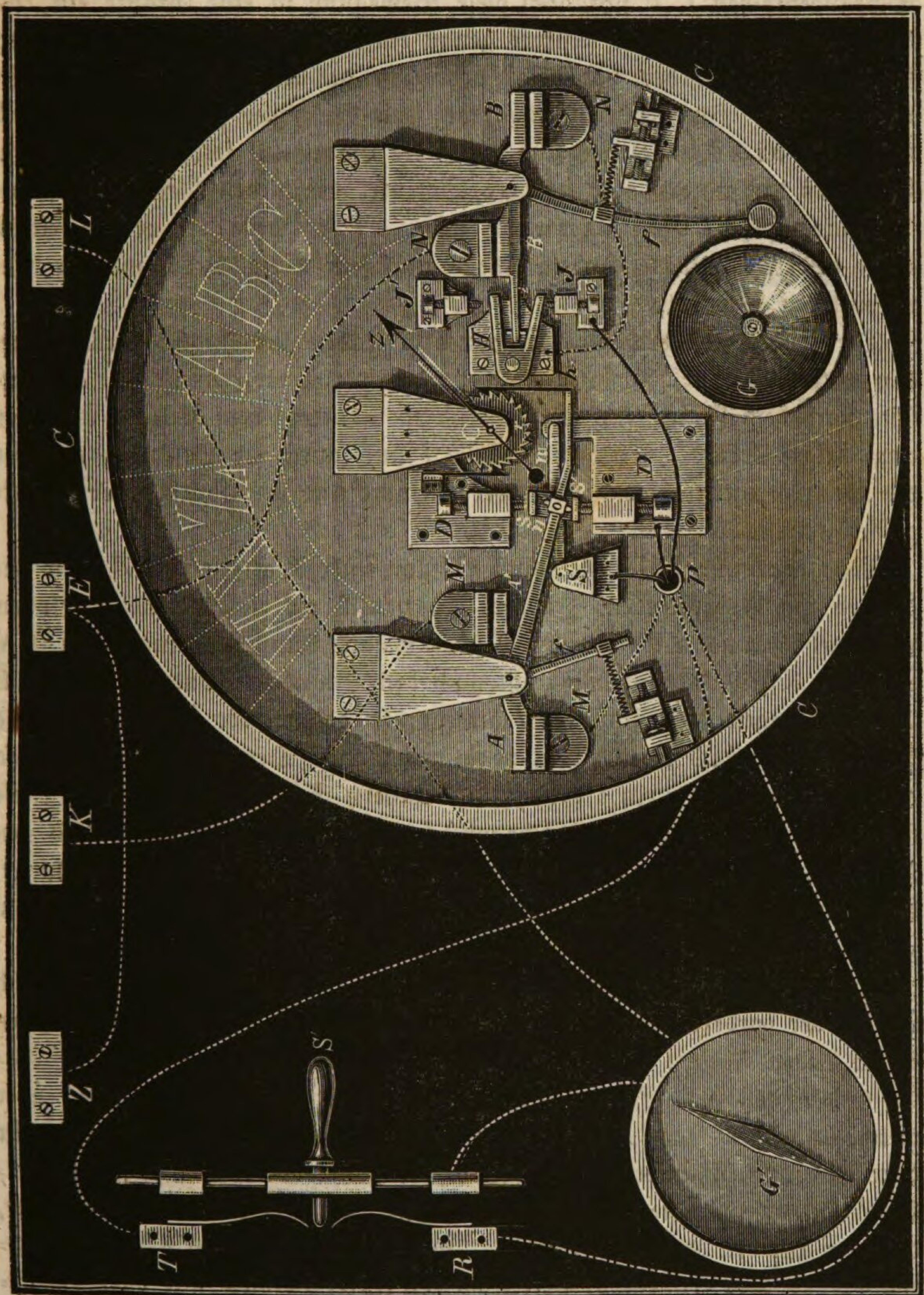
Der Mechanismus jener beiden Theile, Fig. 196, ist innerhalb einer über der Deckplatte eines viereckigen Kästchens hervortretenden runden Messingkapsel *CCC* eingeschlossen, die bloß die Axe des Zeigers hindurchläßt. An ihrem Rande stehen rings herum die kreisförmig gestellten telegraphischen Zeichen (Buchstaben und Ziffern), an denen der Zeiger z bei seiner Bewegung der Reihe nach vorbeiläuft, wie es aus der Fig. 199 ersichtlich ist.

Die zum Betriebe erforderlichen zwei Elektromagnete befinden sich nebst den, in der Figur punktirt gezeichneten, Verbindungsdrähten unterhalb der Deckplatte in dem eigentlichen Raum des Kastens. Auf der Deckplatte sieht man noch das Galvanometer *G'*, den Schieber *S'*, die Contactfedern *R* (Ruhe), *T* (Telegraphiren) und die Drahtklemmen *Z* (Zinkpol), *K* (Kupferpol), *E* (Erddraht), *L* (Leitungsdraht).

Der Weckerapparat ist der einfachere Theil des Ganzen und besteht aus den in der Figur rechts vor dem Haken *h* liegenden Theilen und der Glocke *G*.

NN sind die beiden Pole eines Elektromagneten; seine Schenkel befinden sich unterhalb des Deckels und stehen senkrecht gegen denselben; seine Pole gehen durch den Deckel hindurch und sind mit Kappen oder Schuhen besetzt, die sich dem hervortretenden Eisenkern an der einen Seite rund anschließen, an der andern Seite aber in ebene Platten auslaufen, mit welchen sie auf die ebenfalls plattenförmig gestellten und durch ein ∽förmig gebogenes Eisenstück verbundenen zwei Anker *B* anziehend einwirken. Die Drehungsaxe dieses Ankers trägt zwei Führungsarme *i* und *f*, welche beide zugleich mit dem Anker hin- und hergehen. Der letztere *f* schlägt bei seiner Bewegung mit seinem klöppelförmig gestalteten Ende gegen die Glocke *G*, der erstere *i* aber liegt zwischen den zwei Schenkeln

Fig. 196.



einer Messinggabel, welche sich um einen auf dem Fuße *H* stehenden Metallzapfen mit einiger Reibung hin- und herbewegen läßt. Zwei metallene Schraubenspitzen *I*, *I'* schränken diese Bewegung in eine Gränze ein, die der Bewegungsgröße des Ankers genau entspricht, und daher durch Verstellen der Schrauben vor dem Gebrauche des Apparats genau regulirt werden muß. Im Ruhezustande, wo, wie die Figur zeigt, die Anker *B* von *NN* nicht angezogen sind, muß die Gabel eine solche Stellung haben, daß der untere oder vordere Schenkel durch den Arm *i* gegen die Schraubenspitze *I* leicht angedrückt wird. Der Arm *i* trägt an seinem Ende beiderseits eine Elfenbeinspitze, damit sein Metallkörper mit der Gabel nicht in Berührung komme.

Die Enden des den Elektromagnet bildenden Umwindungsdrahtes gehen unterhalb der Deckplatte einerseits an die Drahtklemme *E*, andererseits nach dem Fußgestelle *H*, während ein anderer, dem Wecker ebenfalls angehöriger Draht, von dem Gestelle *I* aus durch die Oeffnung *P* unter die Deckplatte tritt und hier an der Klemme und der Contactfeder *R* festgeschraubt ist.

Man denke sich jetzt den positiven Pol einer Batterie mit *Z*, den negativen mit *R* verbunden. In dem Augenblick, wo die Batterie geschlossen wird, geht dann ein Strom von *Z* über *E* nach dem Elektromagneten *NN* und von dessen Umwindungsdraht nach dem Ständer *H* und dessen Gabel. Da diese gegen die Schraube *I* anliegt, so gelangt der Strom durch die Gabel über *I* nach *R* und dem negativen Pole. Der Anker *B* wird also angezogen und der Arm *i* verläßt den vordern Schenkel der Gabel. Diese selbst aber bleibt gegen die Schraube *I* anliegend und unterhält also den Strom, während der anziehenden Wirkung von *NN* gegen *B* so lange, bis *B* in die unmittelbarste Nähe von *NN* gekommen ist. In diesem Augenblick aber hat der Arm *i* den hintern Schenkel der Gabel erreicht; er schlägt gegen ihn an und dreht die ganze Gabel nach *I'* hin; dadurch verläßt der vordere Schenkel die Schraube *I*, und es entsteht nun zwischen diesen beiden Theilen eine Unterbrechung, wie sie früher zwischen der Gabel und *I'* bestand. Eben dadurch ist für den Strom die Brücke, über welche er von *H* nach *I* gelangen konnte, aufgehoben, er kann nicht mehr circuliren und ist unterbrochen. Der Elektromagnet *NN* läßt seinen Anker *B* fahren und dieser wird nebst dem Arm *i* von einer Spiralfeder, die hier auf den Klöppel *f* einwirkt, vollends in die vorige Lage zurückgezogen. In dem Augenblick aber, wo der Anker in diese alte Lage zurückgekehrt ist, hat auch der Arm *i* durch Anschlagen an den vordern Schenkel die Gabel wieder nach *I* verlegt und dadurch die Brücke für die Circulation des Stromes wieder hergestellt. — *NN* wirkt nun abermals anziehend auf *B* und es wiederholt sich auf diese Weise diese eben beschrie-

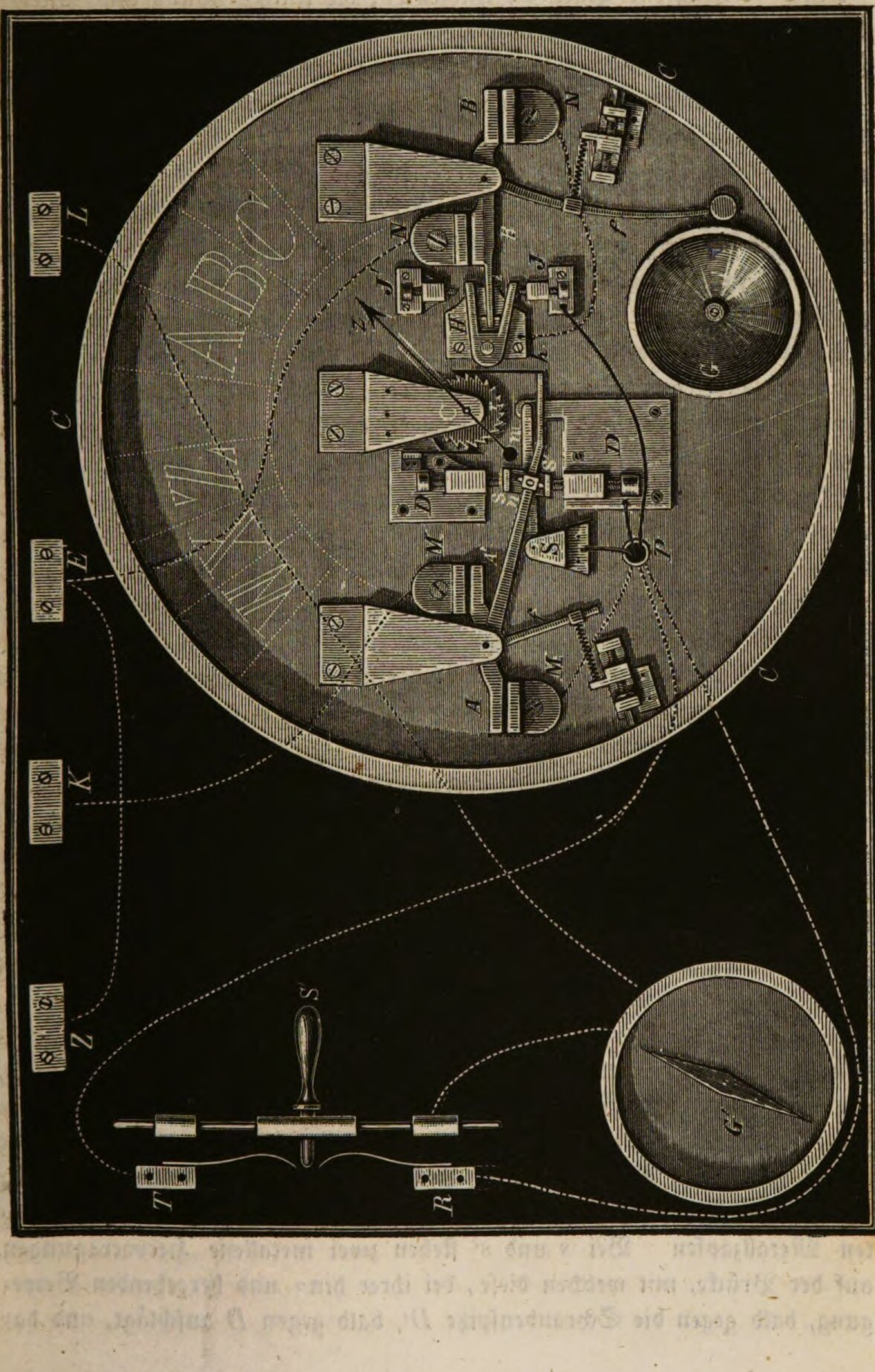


Fig. 197.

bene Bewegung sämmtlicher Theile so lange, als die Batteriepole mit *R* und *Z* in Verbindung bleiben.

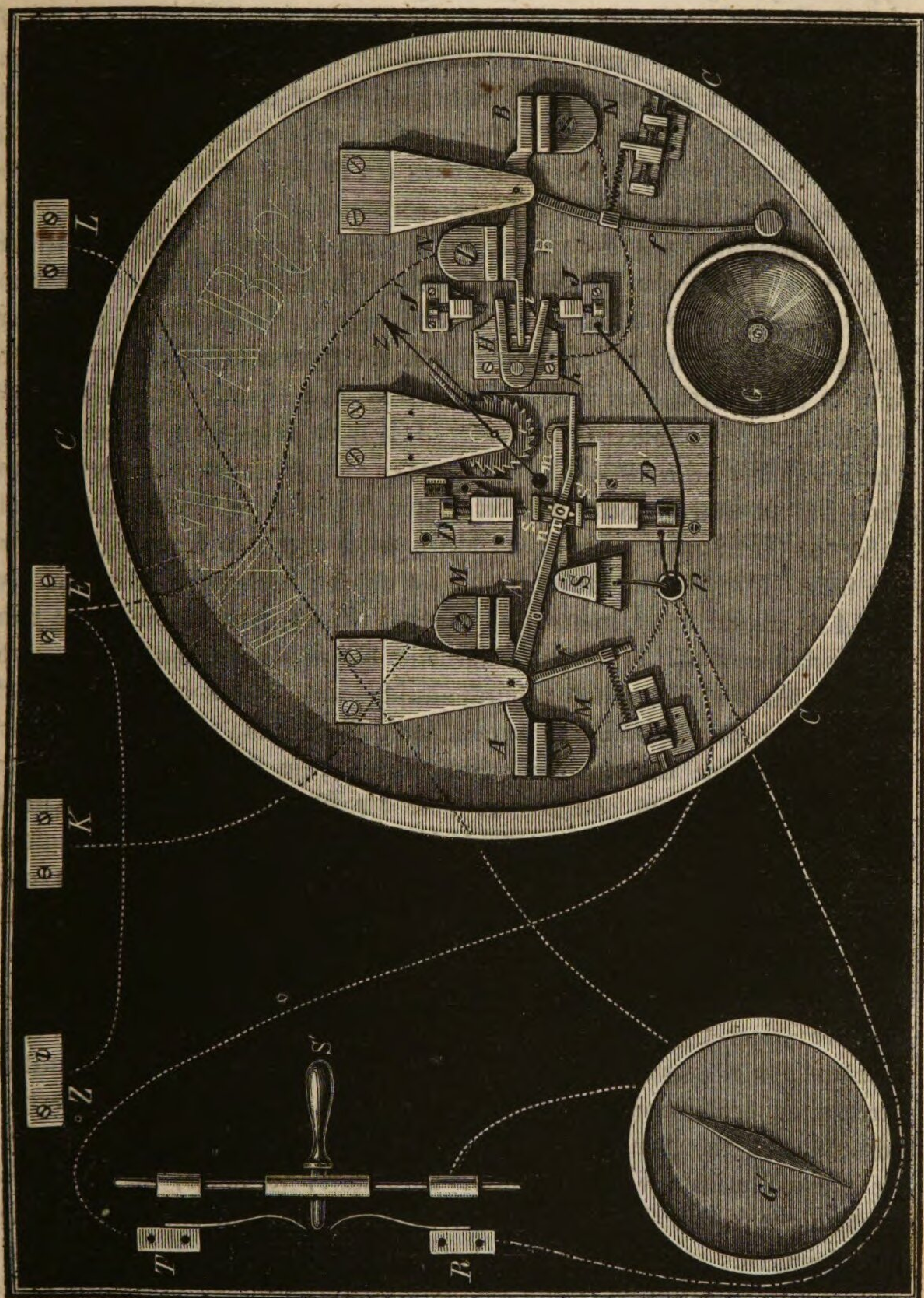
Bei der hin- und hergehenden Bewegung des Arms *f* schlägt sein Klöppel fortwährend gegen die Glocke *G*; die Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes erfolgt hierbei durch den Apparat selbst, woher sein Name Wecker mit Selbstunterbrechung.

Der Mechanismus des Zeigerapparates umfaßt die links von dem Haken *h* liegenden Theile: *MM* sind wieder die Pole eines ganz in der oben beschriebenen Weise construirten und aufgestellten Elektromagneten; *AA'* sein plattenförmig gestalteter Anker, dessen Drehungsaxe auch hier einen Arm *oh* trägt, an dessen Ende *h* ein Haken befestigt ist. Dieser greift in die Zähne eines kleinen Stahlrädchens *r* ein, welches nur nach einer einzigen Richtung drehbar ist, indem ein an der linken Seite des Rädchens auf dem Fuße *D* befestigter Sperrhaken die Bewegung nach der entgegengesetzten Richtung verhindert. So oft der Arm *oh* sich nach hinten (in der Richtung von *D'* nach *D*) bewegt, holt sich *h* einen Zahn, und *r* steht stille, bei der Bewegung des Arms *oh* nach vorne, zieht der Haken *h* den ergriffenen Zahn mit sich fort. Durch eine anhaltende Bewegung von *oh* wird daher das Rädchen *r* nach und nach ganz herumgedreht; der Zeiger *z*, der außerhalb der Messingkapsel auf der verlängerten Axe dieses Rädchens aufgeschraubt ist, theilt dabei die Bewegung desselben und gelangt so sprungweise von einem Buchstaben zum andern in derselben Richtung, wie sich die Zeiger einer Uhr bewegen. Außerdem ist noch ein Mechanismus vorhanden, wodurch verhütet wird, daß der Haken *h* bei jedem Gange nie mehr als einen einzigen Zahn fassen, und das Rädchen *r* nicht weiter, als um einen einzigen Zahn herumziehen kann.

Von den zwei Enden des den Elektromagneten bildenden, unterhalb der Deckplatte liegenden Umwindungsdrahtes, ist das eine bei *K* festgeschraubt, das andere tritt durch die Oeffnung *P* in die Messingkapsel hinein und ist auf dem Messingständer *S* festgeschraubt; ein dritter Draht geht von dem Messinggestelle *D'* und durch eben dieselbe Oeffnung *P* unterhalb der Deckplatte hinweg zu der Drahtklemme *T* und deren Contactfeder.

Die hin- und hergehende Bewegung des Arms *o* wird auch hier durch Selbstunterbrechung des Stromes auf analoge Weise hervorgebracht, wie bei dem Wecker. Zu dem Ende trägt die Messingplatte *S* einen nahe unter dem Arm *o* hinlaufenden Messingstreifen *m*, auf welchem ungefähr in der Mitte eine kleine metallene Brücke *ss'* befestigt ist. Der Streifen *m* nebst seiner Brücke dreht sich um einen am Ende der Platte *S* befestigten Metallzapfen Bei *s* und *s'* stehen zwei metallene Hervorragungen auf der Brücke, mit welchen diese, bei ihrer hin- und hergehenden Bewegung, bald gegen die Schraubenspitze *D'*, bald gegen *D* anschlägt, und da-

Fig. 198.



durch sich nur innerhalb einer kleinen, der Bewegungsgröße des Ankers *AA'* genau entsprechenden und durch Versuche vor dem Gebrauche des Apparates zu regulirenden Gränze bewegen kann.

Es zeigt sich nun bald, daß eine Circulation des Stromes um *MM* nur dann stattfinden kann, wenn *s'* mit *D'* in Berührung steht, nicht aber, wenn *s* an *D* anliegt oder wenn zwischen *s'* und *D'* eine Unterbrechung vorhanden ist, wonach also eine hin- und hergehende Bewegung der Brücke *ss'* zwischen den Schrauben *D*, *D'* eine abwechselnde Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes zur Folge haben muß.

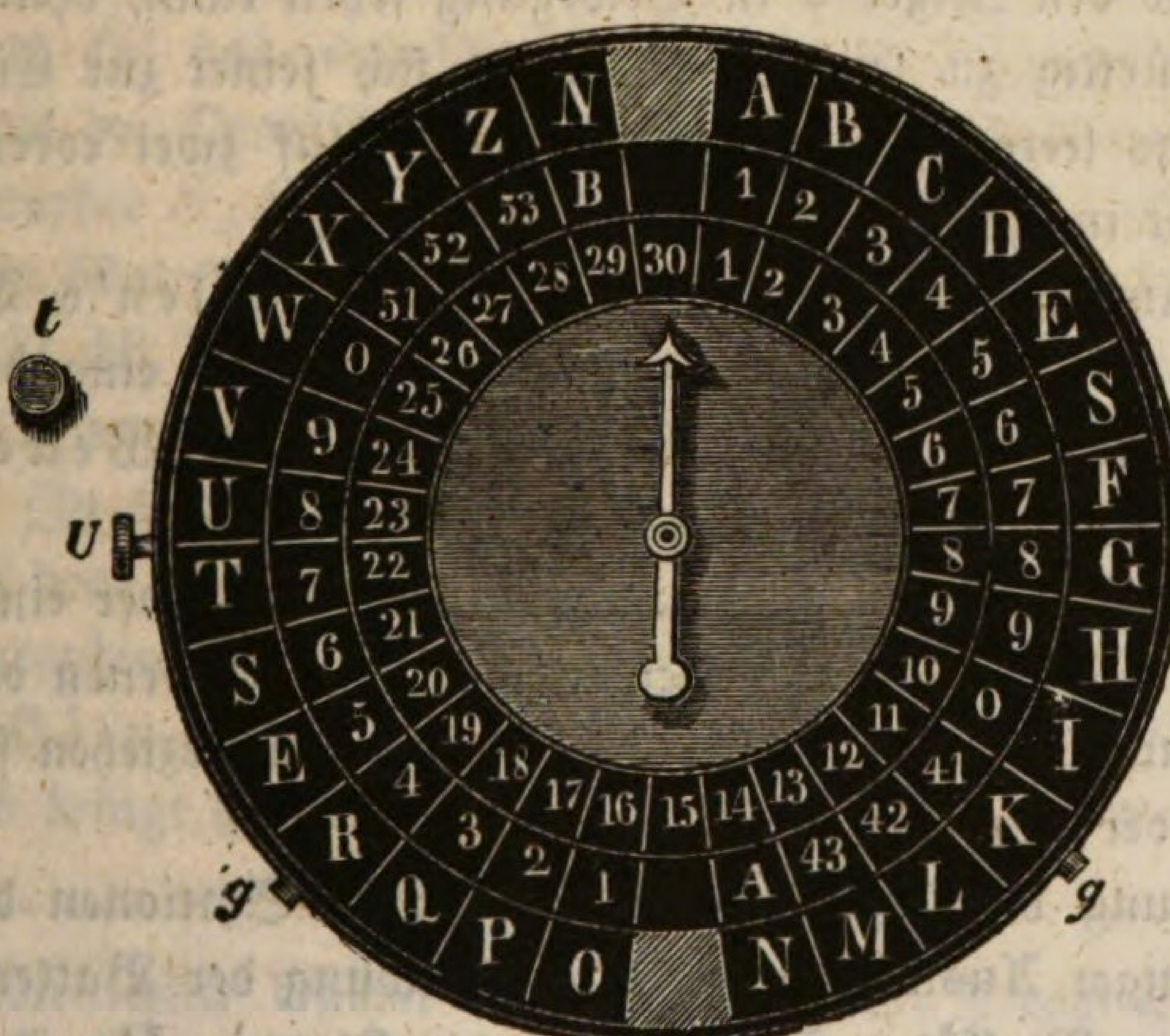
Im Ruhestande des Apparates, wo die Batterie offen, also der Anker *AA'* nicht angezogen ist und durch eine Spiralfeder *f* von *MM* entfernt gehalten wird, drückt das Querstäbchen *n* die Brücke *s'* gegen die Schraube *D'*. Wird in diesem Zustande ein Strom bei *T* eingeleitet, so kann er in der Richtung *T*, *D'*, *s'*, *m*, *S*, *MM*, *K* u. s. w. um den Elektromagneten *MM* circuliren; der Anker *AA'* wird angezogen, *n* verläßt *s'* ohne die Brücke *ss'* selbst zu verlegen, also auch ohne den Strom schon jetzt zu unterbrechen, und der Haken *h* geht nach hinten, um einen Zahn des Rädchens *r* zu erfassen; dieses selbst aber und sein Zeiger *z* stehen stille. Der Strom dauert so lange, und die anziehende Wirkung gegen *AA'* nimmt dabei immer zu, bis der Anker ganz in die Nähe von *MM* gekommen ist; in diesem Augenblick hat *h* seinen Zahn gefaßt, und zugleich hat das Querstück *n* durch Anschlagen gegen *s* die Brücke *ss'* nach *D* verlegt, so daß nun *s* mit *D* in Berührung steht, zwischen *s'* aber und *D'* eine Unterbrechung vorhanden ist, in Folge deren eine Circulation des Stromes von *D'* aus über die Brücke *ss'* nach *S* zu nicht mehr stattfinden kann. Nun läßt *MM* seinen Anker fahren, der sogleich nebst seinem Arm *oh* in die Ruhelage zurückgezogen wird. Indem also *h* den ergriffenen Zahn mit sich nimmt und dadurch den Zeiger *z* auf den nächstfolgenden Buchstaben vorrückt, kommt *n* wieder mit *s'* in Berührung, und die Brücke *ss'* wird in dem Momente, wo *h* seine Ruhelage oder der Zeiger *z* die Mitte eines Zeichenfeldes erreicht hat, durch Anschlagen von *n* gegen *s'* wieder nach *D'* verlegt, womit eine abermalige Circulation des Stromes um *MM* möglich gemacht wird. So wiederholt sich auch hier die Bewegung der einzelnen Theile, in Folge deren der Zeiger *z* sprungweise die Zeichenscheibe durchläuft, so lange, als die Batteriepole mit *K* und *T* verbunden bleiben oder irgend ein anderes mechanisches Hinderniß in die Bewegung hemmend eingreift.

Das Letztere geschieht, wenn der Telegraphist während des Telegraphirens den herumeilenden Zeiger *z* vor irgend einem Buchstaben anhalten will. Es befindet sich nämlich auf der Außenseite der Messingkapsel einem jeden Buchstaben gegenüber eine Taste. Jede Taste wirkt auf einen Messing-

stift, der sich beim Niederdrücken der Taste in das Innere der Kapsel hineinschiebt, beim nachlassenden Druck aber nebst der Taste durch Federkraft wieder in die Höhe geht. Die Axe des Stahlrädchens *r* trägt unmittelbar unter der Fläche des Rädchens einen Arm, der so gestellt ist, daß er dem obern Zeiger *z* genau parallel ist und daher auch bei der Bewegung des Rädchens dem Zeiger *z* stets parallel bleibt. Dieser Arm läuft, wenn keine Taste niedergedrückt ist, gerade unterhalb der einschiebbaren Stifte hindurch und hemmt daher die Bewegung des Rädchens nicht. Wird aber, während der Apparat in Thätigkeit ist und der Zeiger rund läuft, bei irgend einem Buchstaben, z. B. *C*, die Taste niedergedrückt, und dadurch der entsprechende Stift eingeschoben, so dauert die Bewegung des Rädchens *r* und des Zeigers gerade so lange an, bis der Arm unterhalb *z* diesen Stift erreicht hat und angehalten wird; damit steht dann sowohl *z* vor dem Zeichen *C*, als auch *r*, *h o*, überhaupt der ganze Apparat so lange stille, bis die Taste *C* wieder freigelassen wird und der eingeschobene Stift in die Höhe geht. Die Stellung der Stifte und des Arretirungsarmes des Rädchens *r* ist jedoch allemal so anzuordnen, daß, wenn der letztere von einem der ersteren angehalten wird, der Haken *h* noch nicht den ganzen Weg bis zu seiner Ruhelage zurückgelegt hat, demnach das Querstück *n* des Armes *o* sich in der Mitte zwischen *s* und *s'* befindet, und jedenfalls die Seite *s'* noch nicht erreicht hat. Wird also der Zeiger *z* von irgend einer Taste angehalten, so steht *s'* mit *D'* nicht in Berührung und der Strom ist unterbrochen. Der Grund hierfür wird aus dem Folgenden klar werden.

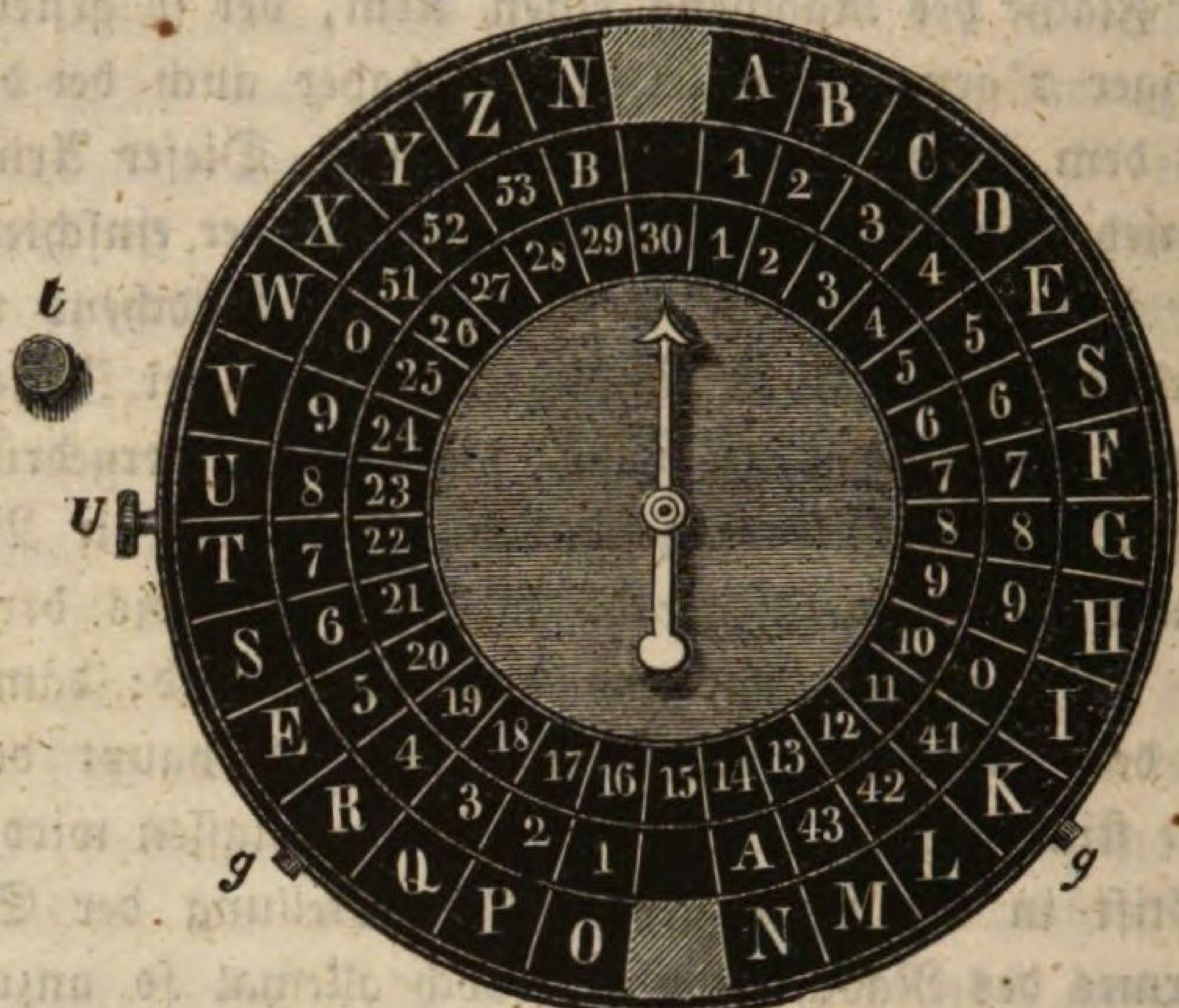
Die Fig. 199 zeigt die Anordnung des Zifferblattes; die Buchstaben *E*,

Fig. 199.



S, N kommen als die in der deutschen Sprache am häufigsten gebrauchten Zeichen zweimal vor; die Felder 41, 42, 43 — 51, 52, 53 und der

Fig. 200.



innerste Ring beziehen sich auf die geheime Chiffre-Correspondenz; *g* und *g'* sind zwei aus der Messingkapsel hervortretende Dornen der auf die Spiralen *f, f'* (Fig. 198) einwirkenden Schrauben, zu denen die Telegraphisten Schlüssel haben, um durch Anziehen oder Nachlassen der Schrauben die Spannkraft der Federn nach Maßgabe der Stromstärke zu reguliren. *U* ist ein Knopf, der an einem auf der linken Platte *A* des Ankers *AA'* einwirkenden Winkelhebel befestigt ist und vermittelst dessen der Telegraphist bei unterbrochenem Strome den Anker *AA'*, also auch den Arm *o* und den Zeiger *z* in Bewegung setzen kann, ohne eines Stromes dabei bedürftig zu sein. Er bedient sich seiner zur Einstellung des Zeigers auf das leere Feld, wenn die Zeiger auf zwei correspondirenden Stationen nicht in Uebereinstimmung sein sollten.

Ueber die Anwendung des Knopfes *t* s. Schellen's Tel. S. 178.

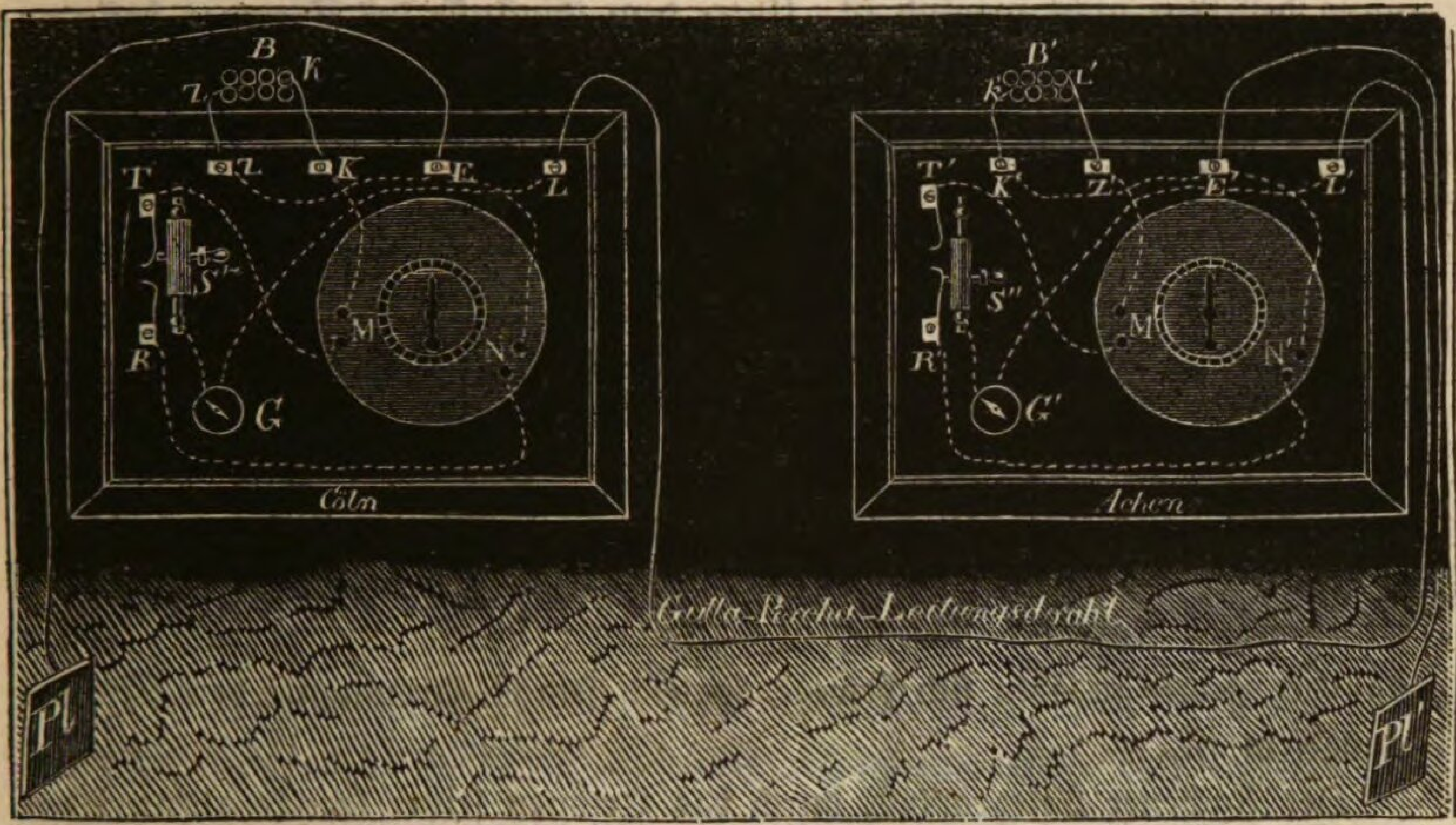
Es bleibt noch übrig, den Zusammenhang zweier mit einander correspondirender Apparate, so wie die Art und Weise des Weckens und des Telegraphirens näher anzugeben.

Die Fig. 201. stellt zwei Apparate dar, von denen der eine in Cöln, der andere in Aachen gedacht werden mag, und in denen die Zeichnung des Mechanismus weggelassen ist; die Buchstaben beziehen sich durchweg auf die Theile der Fig. 198.

Die Anordnung der Apparate ist auf beiden Stationen durchaus dieselbe, mit alleiniger Ausnahme der Polverbindung der Batterie. Auf der einen Station (z. B. Cöln) steht nämlich die Klemme *E* mit dem Zinkpol *Z*, auf der andern Station dieselbe Klemme *E'* mit dem Kupferpol *K'* in

Verbindung. Bei E, E' sind die zu den Erdplatten $Pl.$, $Pl'.$ führenden Erddrähte, bei L, L' die Enden des Leitungsdrahtes eingeschraubt;

Fig. 201.



Z, Z' sind die Klemmen für die Zinkpole; K, K' für die Kupferpole der Batterie. Der Schieber S' (vergl. Fig. 198) läßt sich an einer Messingstange entlang vorbeischieben, so daß seine metallene Spitze bald mit der Contactfeder T (beim Telegraphiren), bald mit R (in der Ruhe) in Verbindung steht. Für die Stellung des Schiebers zwischen den Federn T und R, wie in Fig. 198, ist kein Strom möglich. Die Drahtenden des Galvanometers G' sind einerseits mit dieser messingenen Schieberstange, andererseits mit der Drahtklemme L verbunden*). In der Ruhelage stehen die beiden Schieber S', S'' auf beiden Stationen auf R. Bei dieser Stellung sind beide Batterien B, B' offen, denn in Aachen findet vom Pole z' aus über Z', M', T' hinaus keine Weiterleitung statt, und eben so trifft man in Cöln vom Pole k aus über K, M, T (im Falle S' auf R steht), offene Kette. In diesem Zustande stehen die Zeiger des Zifferblattes (Figur 199) auf dem leeren Felde.

Das Telegraphiren geschieht nun auf folgende Weise:

Gesetzt, Cöln will eine Depesche abgeben: Cöln rückt zuerst S' auf T und bringt dadurch die Cölner Batterie B in die Leitung; ihr

---

*) In der Wirklichkeit befindet sich zwischen G' und L noch eine Vorrichtung, die nur beim Directsprechen, wovon weiter unten, in Anwendung kommt; für die gewöhnliche Correspondenz ist sie überflüssig.

Strom nimmt die Richtung vom *k* Pol aus über *K, M, T, S', G, L*, Leitung *L', G', S'', R', N', E', Pl'*., Erde, *Pl., E, Z, z* Pol. Ein näheres Verfolgen zeigt leicht, daß ein anderer Weg des Stromes oder eine Abzweigung desselben nicht möglich ist. Unter dem Einflusse des Stromes befinden sich nun:

a) der Wecker *N'* der Aachener Station, und

b) der Zeigermagnet *M* der Cölner Station.

Nun ist aber mit Rücksicht hierauf die Feder (Fig. 198) des Weckermagneten viel schwächer angespannt als die Feder des Zeigermagneten, so daß durch die Stromkraft der einen Batterie *B* der Weckermagnet seine Feder früher überwinden kann, als der Zeigermagnet die seinige. Indem aber *NN* seinen Anker *B* früher anzieht, als *MM* den seinigen (*AA*) und sofort durch die Anziehung von *B* und die Bewegung von *i* der Strom sich unterbricht, so kann der Zeigermagnet *MM* überhaupt nicht zum Anziehen seines Ankers kommen. Der Aachener Wecker ertönt daher, ohne daß der Zeiger in Cöln sich bewegt, obgleich sein Elektromagnet dem Strome ausgesetzt ist.

Der Aachener Telegraphist, durch das Ertönen seiner Glocke aufmerksam gemacht, stellt sofort seinen Schieber *S''* auf *T'*, und nun befinden sich die Batterien *B, B'*, so wie die Zeigermagnete *M, M'* beider Stationen in der Leitung. Die Richtung des Stromes ist dabei, wenn man von *B* ausgeht, folgende:

k Pol *K, M, T, S', G, L*, Leitung, *L', G', S'', T', M', Z', z' B' k', K', E', Pl'*., Erde, *Pl., E, Z, z* Pol.

Demnach befinden sich die Zeigerapparate *M, M'* beider Stationen unter dem Einflusse eines mit den beiden Batterien *B, B'* erzeugten Stromes, der nun hinreichend stark ist, die Anker *A, A'* (Fig. 198), deren Federn gleich stark angespannt sind, zum Anklappen und die Zeiger auf der Zeichenscheibe zum Rundlauf zu bringen.

Sobald eine der beiden Stationen (Cöln) eine Taste niederdrückt, so hält der Zeiger auf dieser Station an dem dadurch eingeschobenen Stifte an, und der Strom ist zugleich, wie in dem Obigen erklärt wurde, unterbrochen. Da also kein Strom mehr vorhanden ist, muß auch der Zeiger der Aachener Station einen Moment nach dem Stillstande des Cölner Zeigers stille stehen.

Will die empfangende Station (Aachen) die arbeitende (Cöln) unterbrechen, so braucht sie nur eine ihrer Tasten, in der Regel die weiße unten oder oben (Fig. 199) niederzudrücken. Durch das Stillhalten der Zeiger erkennt dann die arbeitende Station sofort, daß eine Zwischenfrage gemacht werden soll.

Läßt nun die empfangende Station die niedergedrückte Taste wieder frei,

so setzen beide Zeiger ihren Lauf wieder fort und es verwandelt sich die empfangende Station in eine arbeitende. — Nach Beendigung einer Mittheilung giebt die arbeitende Station das Zeichen *OEO* (Ende) und hierauf *ORO* (Ruhestellung), worauf jede Station ihren Schieber S', S'' wieder auf R, R' herabrückt und dadurch den Apparat in den Ruhestand zurückversetzt.

Eine größere Telegraphenlinie, z. B. von Berlin nach Verviers, auf der belgischen Gränze, zerfällt in der Regel in mehrere Sectionen, die für sich wieder besondere kleinere Linien (z. B. Hamm — Düsseldorf, Düsseldorf — Deutz u. s. w.) bilden, so daß die ganze Linie aus zwei Endstationen und mehreren Zwischen- oder Durchgangsstationen besteht. Für die genannte Linie sind Potsdam, Magdeburg, Oschersleben, Braunschweig, Hannover, Minden, Hamm, Düsseldorf, Deutz, Cöln, Aachen, Zwischenstationen, während die Endstationen Berlin und Verviers sind.

Jede Zwischenstation hat demnach zwei Zeigerapparate, von denen der eine nur mit der vorhergehenden, der andere nur mit der nachfolgenden Station correspondiren kann; nur die Endstationen enthalten einen einzigen Apparat. Für viele Fälle ist es indeß wünschenswerth, daß einige oder beliebig viele Zwischenstationen aus der Leitung können ausgeschaltet werden und jede Station nicht bloß mit der benachbarten, sondern mit jeder anderen Station derselben Linie direct correspondiren kann, insbesondere daß die Endstationen in eine directe Verbindung treten können, ohne daß die Mittheilungen den Weg durch die Apparate der Zwischenstationen hindurch zu nehmen nöthig haben. — Zu diesem Behufe befinden sich auf allen Zwischenstationen sogenannte Ausschalter in Verbindung mit einem Wecker, wodurch es nicht nur ermöglicht wird, daß jede Station unter Umgehung aller Zwischenstationen mit jeder anderen Station direct verkehren kann, sondern auch, daß nach Beendigung der directen Correspondenz den ausgeschalteten Zwischenstationen auf dem Wecker das Signal gegeben wird, daß sie sich wieder in die Leitung einzuschalten haben. Diese Vorrichtungen des Ausschalters und des Weckers und die ganze Art und Weise ihres Zusammenhanges mit den Zeigerapparaten sind nicht minder bewundernswürdig, als der Telegraph selbst; sie gewinnen aber ihr höchstes Interesse durch ihre Verbindung mit dem Morse'schen Drucktelegraphen, wodurch erreicht wird, daß unter Benutzung eines einzigen Leitungsdrahtes bald direct zwischen den Endstationen mit dem Morse'schen Drucktelegraphen, bald direct zwischen zwei beliebigen Stationen mit dem Siemens'schen Zeigerapparate, bald auch stationsweise zwischen zwei benachbarten Stationen mit dem letzten Apparate, je nachdem das Bedürfniß es erheischt, gearbeitet werden kann (Schellen's Telegr. S. 167 — 180, S. 197 — 202, S. 242 — 251).

Eine besondere Erwähnung verdienen endlich noch die seit einigen Jahren 220

auf mehreren Eisenbahnlinien Sachsens und Baierns eingeführten Zeigerapparate von E. Stöhrer. Was diese Telegraphen besonders auszeichnet, ist der Umstand, daß zu ihrem Betriebe keine hydrogalvanische Batterie, sondern eine magneto-elektrische Rotationsmaschine angewandt wird. Letztere erhält ihre Umdrehung durch ein Uhrwerk, und der regelmäßige Wechsel in der Richtung des erzeugten Inductionsstromes ist von einem regelmäßigen Polwechsel des auf den Zeiger wirkenden Elektromagneten begleitet. Zwischen diesen Polen liegt ein permanenter Stahlmagnet, der durch den Polwechsel des Elektromagneten in eine hin- und hergehende Bewegung versetzt wird und diese Bewegung auf ein stählernes Echappement überträgt, das seinerseits wieder in ein Steigrad von Neusilber eingreift. Auf der Welle des Steigrades, das 18 Zähne hat, sitzt der Zeiger, der sich demnach über die 36 Felder der Buchstabenscheibe bewegt.

Das Telegraphiren geschieht hierbei nicht durch Niederdrücken von Tasten, sondern durch Verstellen eines Führungsarmes nach rechts oder links auf dem zu signalisirenden Buchstaben. Der Zeiger hält dann in seinem Laufe genau diesem Buchstaben gegenüber an.

Die Stöhrer'schen Apparate arbeiten mit einer befriedigenden Geschwindigkeit und vollständigen Sicherheit; aber weil ihre Tragweite wegen der verhältnißmäßig geringen Intensität des Inductionsstromes nicht sehr bedeutend ist, so eignen sie sich bei der gegenwärtigen Construction der magneto-elektrischen Maschinen nur für die in der Regel kürzeren Eisenbahnlinien.

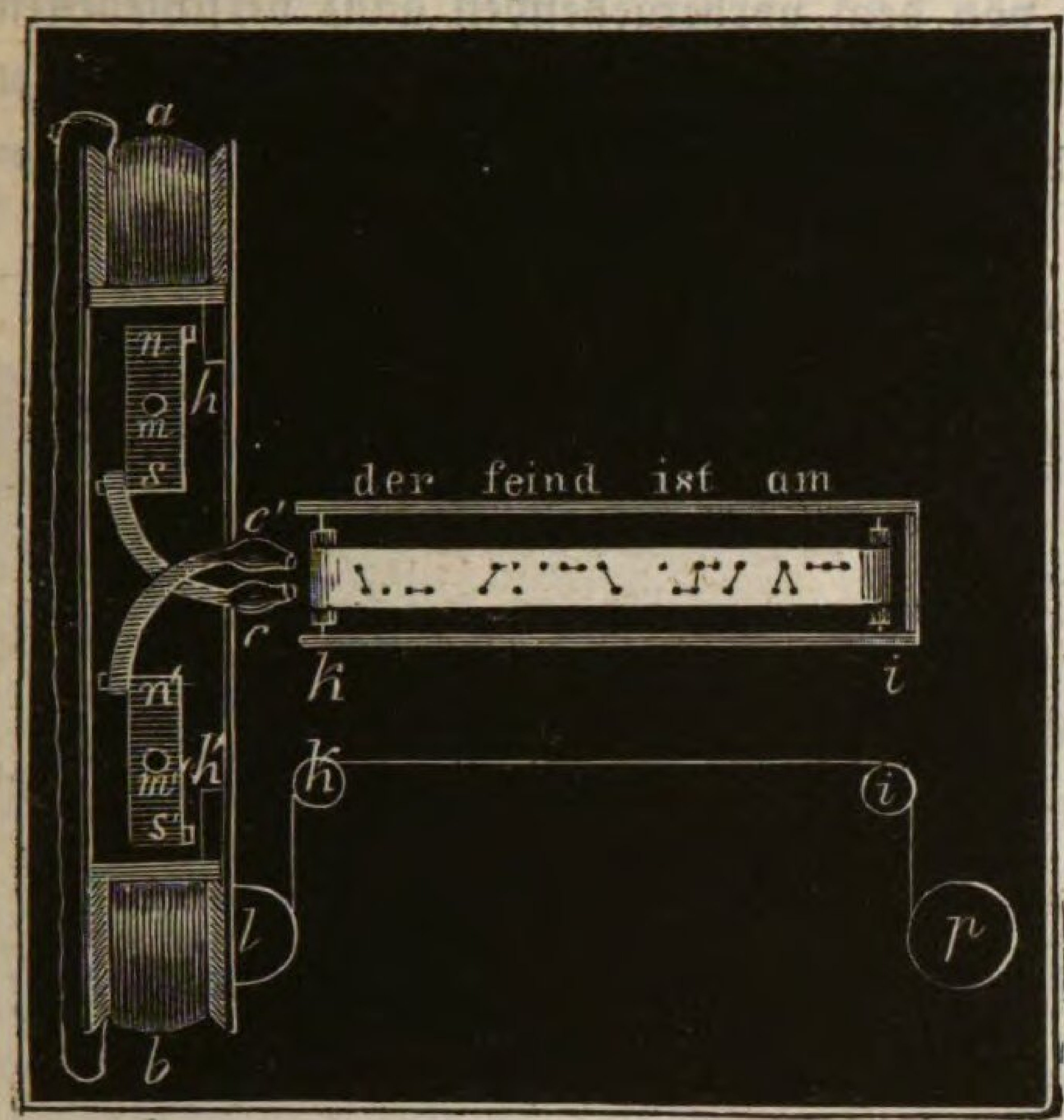
Die Drucktelegraphen.

221 Es wurde schon oben bemerkt, daß der erste Drucktelegraph im Jahre 1837 von Steinheil construirt worden ist. Seit jener Zeit hat es an den mannichfaltigsten Versuchen zur Ausbildung dieses Zweiges der Telegraphie nicht gefehlt. Besonders haben Bain, Wheatstone, Vail, Morse, und in der neuesten Zeit wiederholt Bain, so wie Brett, Stöhrer, Dr. Kramer, insbesondere aber Siemens und Halske*) typotelegraphische Vorrichtungen in einer solchen Vollendung zu Stande gebracht, daß die damit angestellten Probearbeiten ganz befriedigende Resultate gewährten. Gleichwohl haben diese Apparate, mit Ausnahme des Morse'schen und der diesen ganz verwandten Stöhrer'schen, in der Praxis noch keine Anwendung finden können, und eine detaillirte Beschreibung wird daher in dem Folgenden auch nur den gegenwärtig, allerdings in dem größten Maßstabe zur Anwendung kommenden Morse'schen Vorrichtungen oder dem Amerikanischen Systeme zu Theil werden.

*) Der Druckapparat von Siemens ist seiner größten Vollkommenheit nahe; er druckt die Depeschen in sehr scharfem Typendruck mit gewöhnlichen Lettern.

Der wesentlichste Theil von Steinheil's Druckapparat ist in Figur 202 abgebildet. *ab* stellt den horizontalen Durchschnitt eines Multiplicators dar, an welchem der mittlere Drahtverlauf weggelassen ist, um einen Blick in die Höhlung der Windungen zu gestatten. Innerhalb dieser letzteren befinden sich die um die Axen *m*, *m'* drehbaren Magnetstäbchen *ns*, *n's'*, deren benachbarte Enden *s*, *n'* leichte, mit capillaren Spitzen versehene und mit einem schwarzen Pigmente gefüllte Schreibgefäßchen *c*, *c'* tragen. Zwei Stifte *h*, *h'*, welche den äußersten Polen *n*, *s'* der Magnete gegenüber stehen, verhindern das Ausschlagen derselben nach dieser Seite hin, und demnach kann jeder Magnet mit seinem inneren Ende (*s* oder *n'*) und seinem Schreibgefäßchen nur nach einer einzigen Seite hin ausschlagen. 222

Fig. 202.



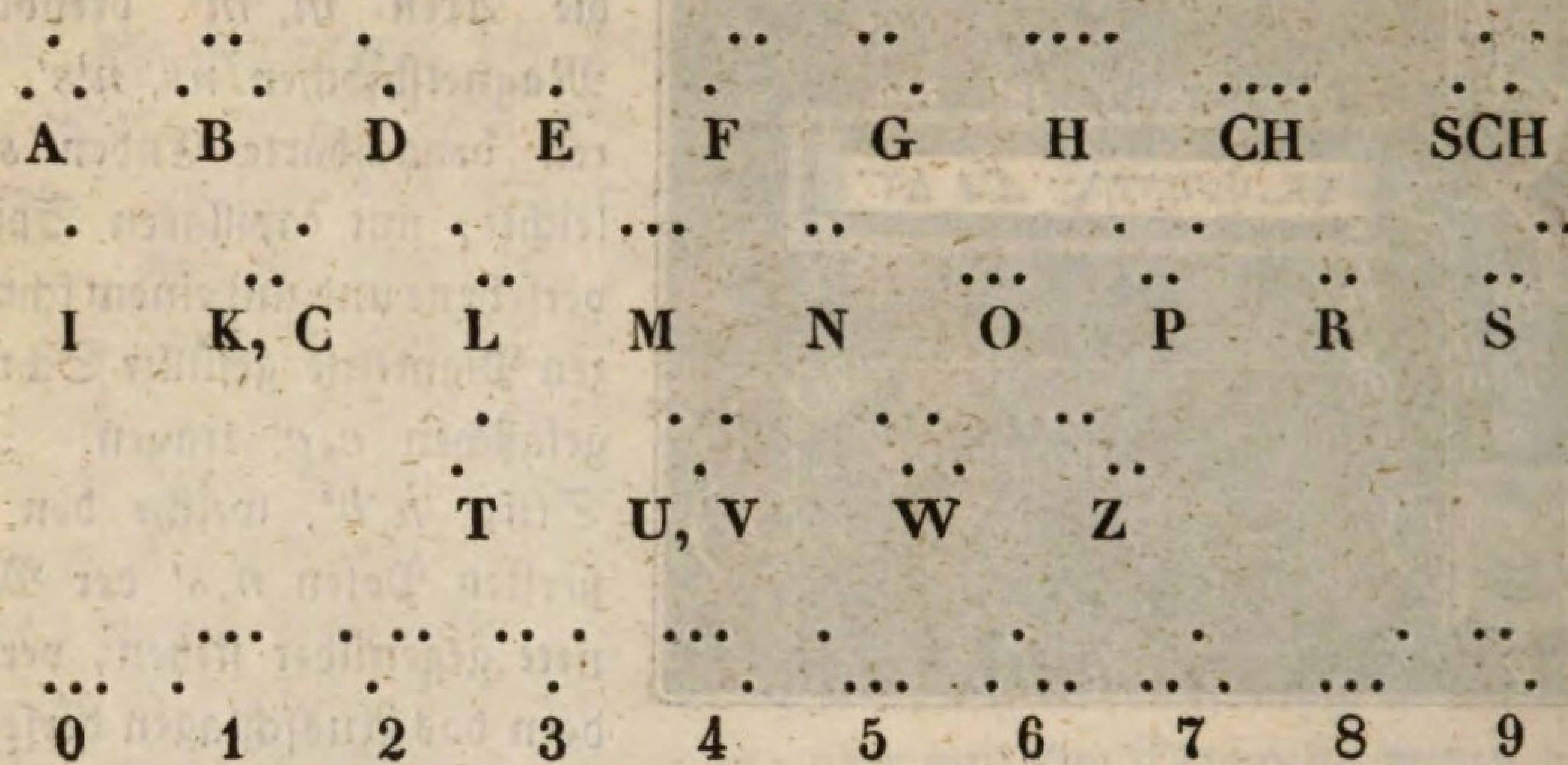
Wenn nun ein Strom von bestimmter Richtung die Nadeln so afficirt, daß ihre Nordpole nach der Rechten ausschwingen wollen, so wird die Nadel *ns*, durch *h* aufgehalten, in Ruhe bleiben, während *n's'* so ausschwingt, daß *c'* sich nach der Rechten bewegt. Ein entgegengesetzt gerichteter Strom bringt die entgegengesetzte Bewegung hervor; es bleibt nämlich *n's'*, durch *h'* aufgehalten, in Ruhe, während *ns* so abgelenkt wird, daß das Dintengefäß *c* nach der Rechten ausschlägt. Zur Hervorbringung dieser zweifachen Ablenkungen ist also nur die jedesmalige Umkehrung des Stromes erforderlich und Steinheil bringt dieselbe durch Umlegen des Inductors einer Clarke'schen Rotationsmaschine nach der einen oder anderen Richtung hervor.

Um diese Ablenkungen, durch deren Gruppirung die Buchstaben dargestellt werden, als Schrift zu fixiren, läßt Steinheil vermittelst eines Uhrwerkes einen langen Papierstreifen über Rollen sich gleichmäßig vor den Schreibgefäßen fort bewegen. Das Uhrwerk treibt die Rolle *l*, und diese wickelt den über die horizontal liegenden Rollen *k*, *i* laufenden und von der Vorrathswalze *p* kommenden Papierstreifen *pikl* langsam auf sich auf.

Sobald also ein Strom den Multiplicator durchläuft, wird einer der Magnete abgelenkt und sein Schreibgefäß gegen das Papier gedrückt. Der auf

solche Weise gesetzte Punkt wird sogleich nach seinem Entstehen durch die Bewegung des Papiers vom Schreibgefäße fortgerückt, um einem folgenden Punkte Platz zu machen. Eine wiederholte Ablenkung desselben Magneten muß also einen der Lage nach von dem vorhergehenden ganz verschiedenen Punkt zeichnen. Die Schrift wird demnach bei *k* aufgedruckt und befindet sich auf dem zwischen *k* und *l* befindlichen Streifen, bis sie auf *l* aufgerollt wird.

Das Alphabet Steinheil's ist folgendes:



Der Steinheil'sche Telegraph wurde zwischen der königl. Akademie zu München und der Sternwarte zu Bogenhausen eingerichtet; der Leitungsdraht wurde über die Häuser und Thürme der Stadt aufgespannt, und hatte eine Länge (hin und zurück) von 30,500 Pariser Fuß. Ein anderer 6000 Fuß langer Eisendraht verband die Wohnung Steinheil's in der Lerchenstraße mit der Akademie und der Sternwarte, und ein dritter Theil des Leitungsdrahtes (ein 1000 Fuß langer feiner Kupferdraht) führte im Innern der Akademie zu dem physikalischen Cabinette.

223 **Der einfache Morse'sche oder der Amerikanische Telegraph.** Schon im October des Jahres 1832, also fünf Jahre früher, als Wheatstone ein Patent auf seinen ersten Nadeltelegraphen nahm, kam der amerikanische Professor Morse auf einer Reise, die er mit dem Packetboote Sully von Europa nach Amerike machte, auf die Idee, Elektromagnete zur Telegraphie zu verwenden. Indessen erst nach vielen mühevollen Versuchen kam er zum Ziele, und erst im Jahre 1837 wurde die Einrichtung seines Drucktelegraphen bekannt gemacht.

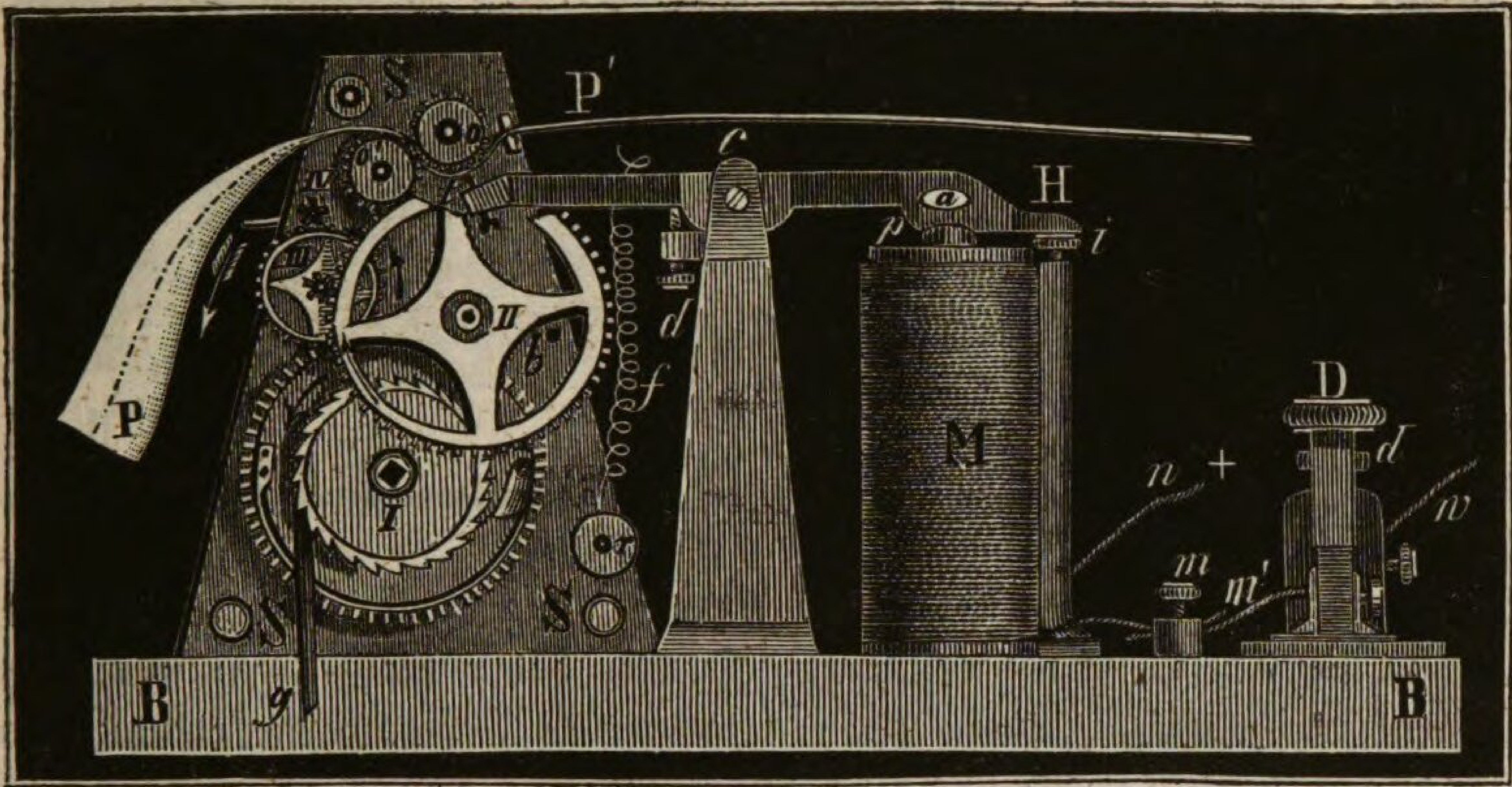
Der Apparat giebt nur zwei Elementarzeichen, einen Punkt und einen Strich; diese Zeichen werden auf der empfangenden Station einem vermittelst eines Uhrwerkes sich abwickelnden Papierstreifen eingeprägt und stellen einzeln oder zu 2, 3, 4, 5, 6 combinirt die Buchstaben, Ziffern und andere convenable Zeichen dar.

In seiner einfachsten Gestalt besteht der Telegraph Morse's außer der Batterie und dem Leitungsdrahte:

1) aus dem Schreibapparate oder dem Räderwerk,
2) aus dem Schlüssel oder dem Drücker.

Der Schreibapparat ist in Fig. 203 abgebildet. *M* ist der Elektromagnet; das Drahtgewinde desselben ist einerseits mit dem + Pole der Batterie,

Fig. 203.

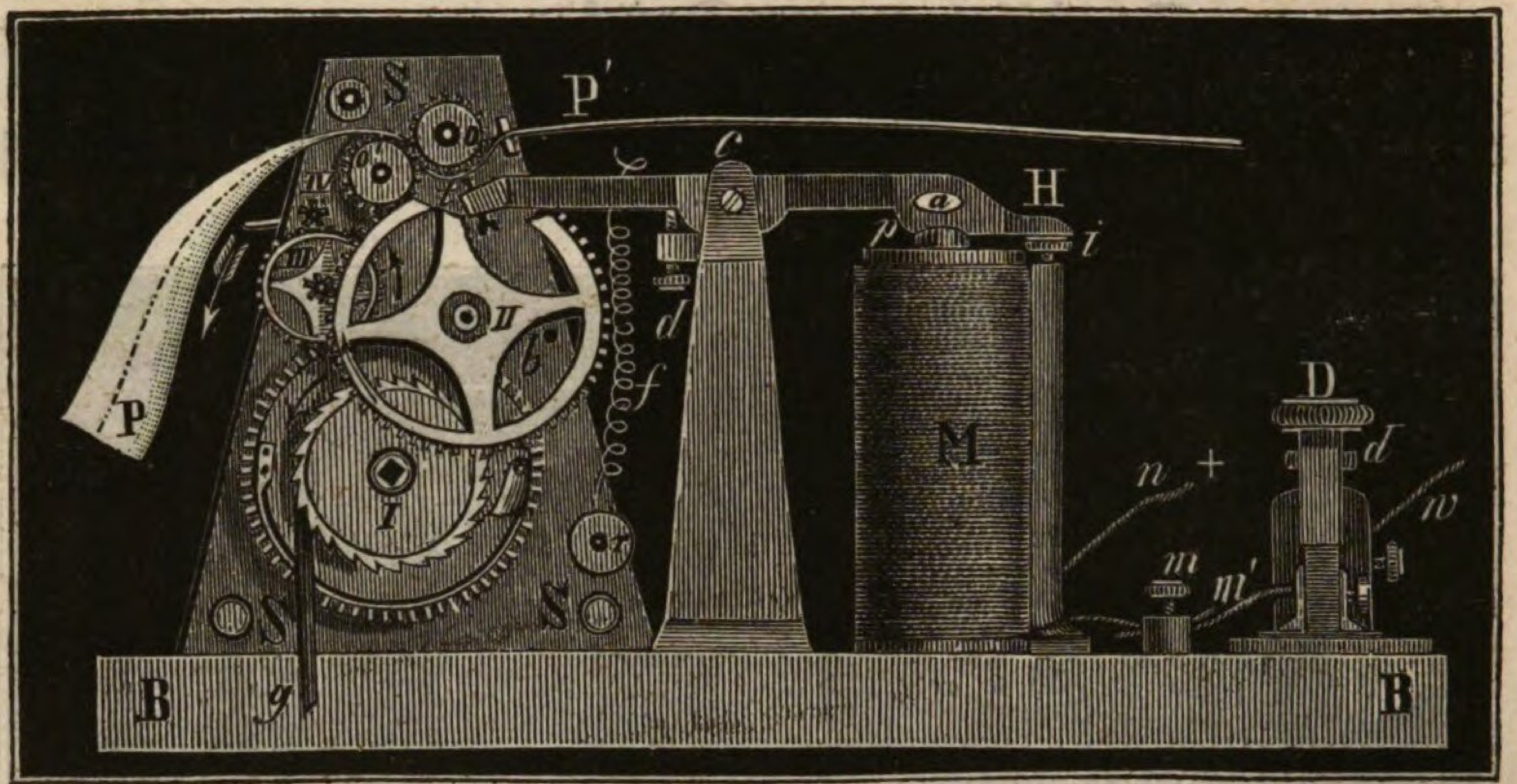


andererseits mit dem Messingsäulchen *m* verbunden. Die Eisenkerne *p* ragen etwas aus der Drahtrolle hervor. Der Anker *a* ist an einem Hebel *Hct* befestigt, dessen Drehpunkt in *c* liegt und dessen Ende *t* einen wohl gehärteten Stahlstift trägt. Durch die Schrauben *i* und *d* kann die Bewegung des Hebels *H* und des Stiftes *t* beliebig regulirt werden. Ein aus der Zeichnung leicht verständliches System von Rädern hat den Zweck, zwei einander sehr nahe liegende Walzen *o* und *o'* in eine entgegengesetzte Bewegung zu versetzen und dadurch einen langen und schmalen Papierstreifen *PP'* in gleichmäßiger Bewegung zwischen diesen Walzen hindurch an den Stift *t* vorbeizuziehen. Die Walze *o* ist genau an der Stelle, welche sich über dem Stifte *t* befindet, mit einer Rinne versehen, so daß der Stift bei seinem Aufsteigen das Papier, welches zwischen ihm und der eingekerbten Walze liegt, in diese Rinne hineindrücken und dadurch einen Eindruck in dasselbe machen kann. Ein Stift, welcher bei *b* eingesteckt wird, oder auch ein Frictionsreifen, der auf die Welle eines der Räder gelegt wird, hält das ganze Räderwerk während des Ruhezustandes in Stillstand; zieht man den Stift *b* heraus oder schlägt man den Frictionsreifen zurück, so setzt sich das Uhrwerk in Bewegung.

Die Signale bestehen, wie bereits gesagt, aus Gruppen von Punkten und Strichen. Sobald nämlich ein Strom den Elektromagneten *M* um-

kreiset, wird *a* angezogen, der Stift *t* wird in die Höhe geschnellt und macht in den Papierstreifen einen Eindruck. Bei der Unterbrechung des Stromes

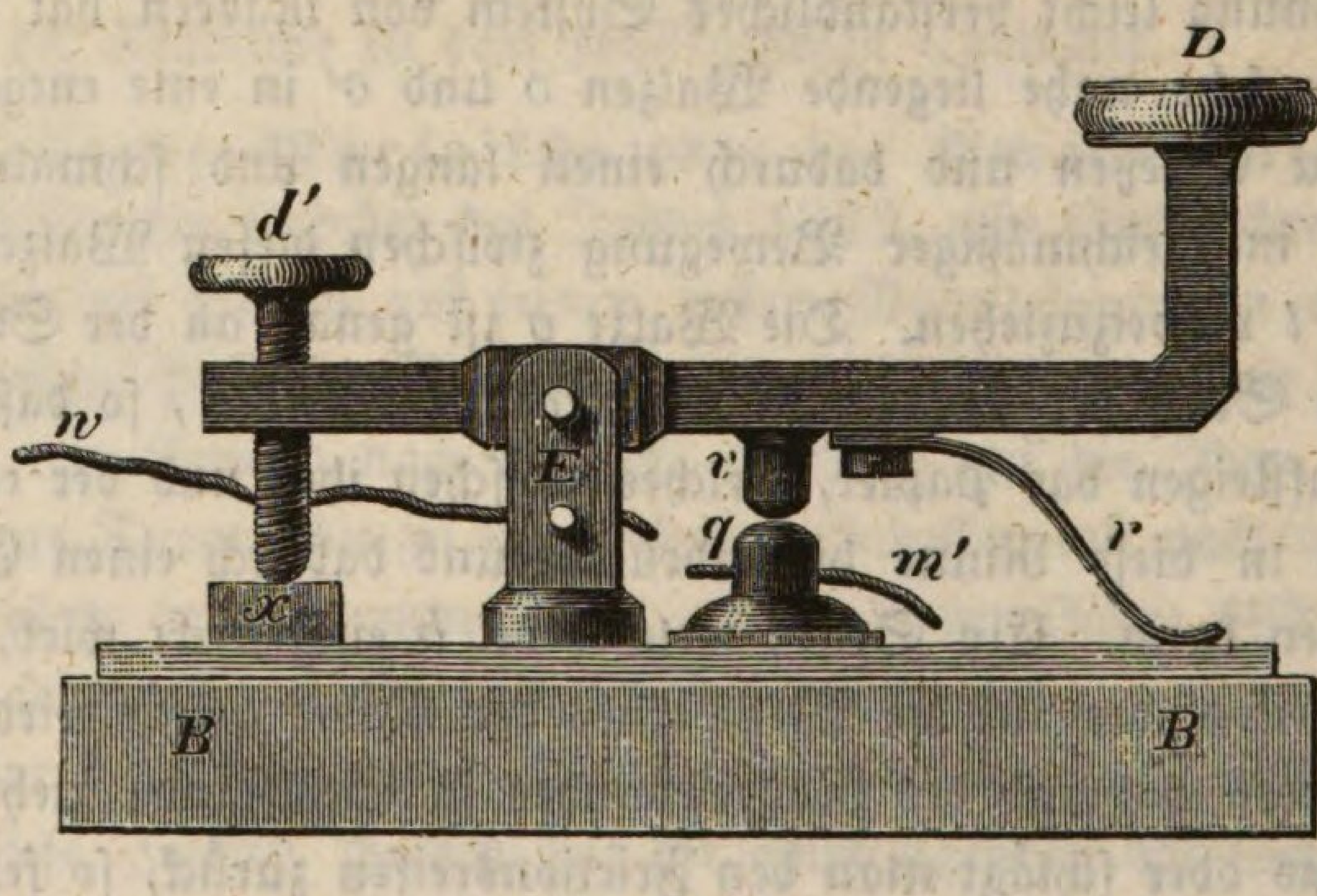
Fig. 204.



hört auch die Anziehung des Magneten auf und die Feder *f* zieht an dem Hebelarme *c t* den Stift *t* zurück. Dauert daher der Strom nur einen Augenblick, so macht *t* einen Punkt, dauert er länger, so entsteht auf dem sich bewegenden Papierstreifen eine Linie. Unterbricht man den Strom eine Weile und stellt ihn darauf wieder her, so entsteht zwischen den Eindrücken des Papiers eine Lücke.

Diese verschiedenen Bewegungen des Stiftes *t* werden durch den Schlüssel (Fig. 205) hervorgebracht, der in (Fig. 204) mit *D* bezeichnet und mit

Fig. 205.



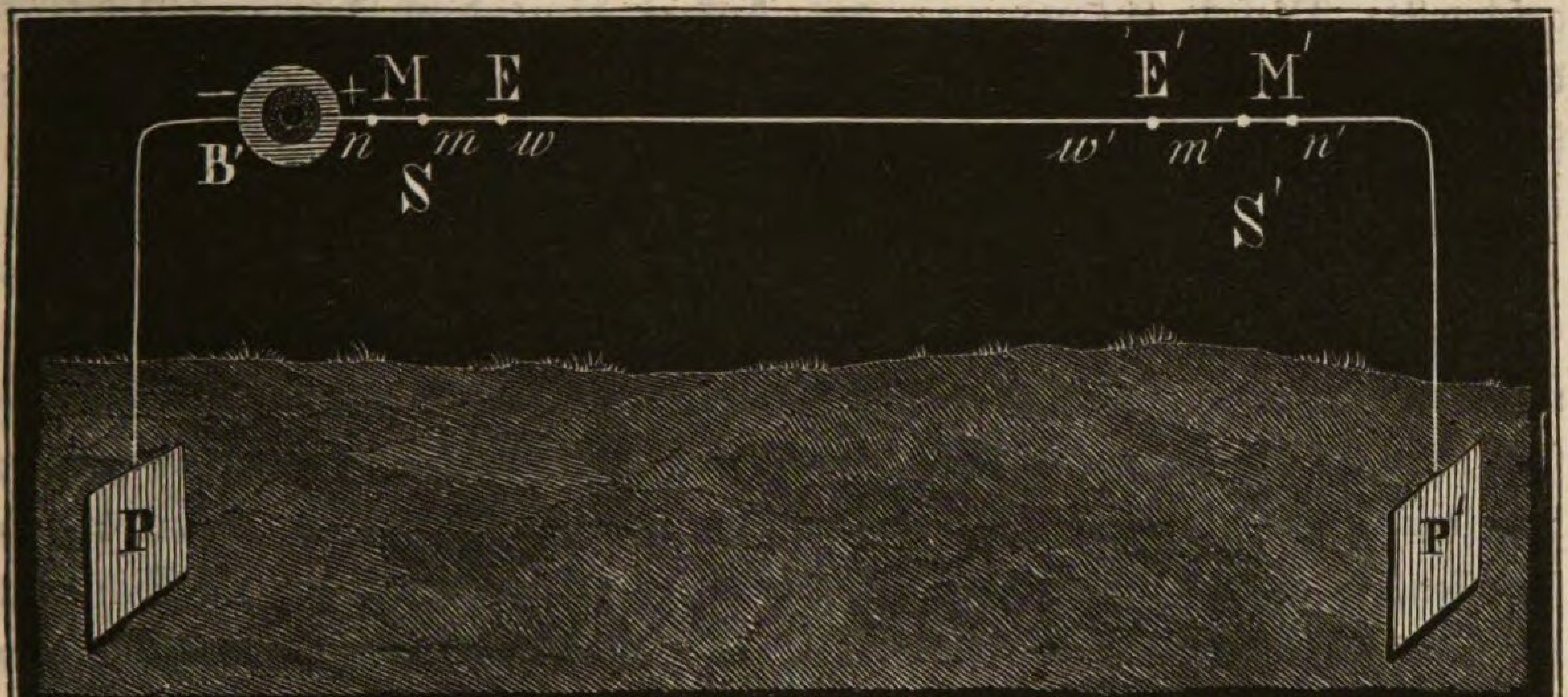
dem Räderwerke auf demselben Tische festgeschraubt ist. Er besteht aus einem Messinghebel *D*, der in der Messingsäule *E* seinen Drehpunkt hat und an seinem unteren Ende einen Messinghammer *v* trägt, durch welchen er

bei seinem Niedergehen mit dem darunter befindlichen Messingamboß q in Verbindung treten kann. Die Feder r sucht den Arm D stets aufwärts zu treiben. Vermittelst der Schraube d', welche durch den Druck von r beständig auf dem Elfenbeinstück x aufruht, läßt sich der Hebelarm D so tief herabbringen, daß der Hammer v mit dem Amboß q in inniger Berührung ist. Diese Stellung nimmt der Schlüssel ein, wenn er nicht arbeitet; man sagt dann, der Schlüssel ist geschlossen; im anderen Falle, wenn v mit q nicht in Berührung ist, nennt man den Schlüssel offen.

Das von dem Elektromagneten M (Fig. 204) kommende und in dem Säulchen m festgeschraubte Ende des Umwindungsdrahtes steht durch den Zwischendraht m' mit dem Amboß q des Schlüssels in Verbindung; in der Säule E ist dagegen das Ende w des von einer Station zur andern sich erstreckenden Leitungsdrahtes festgeschraubt.

Der Apparat in Thätigkeit. In der schematischen Figur 206 bezeichnen S, S' zwei Stationen der Telegraphenlinie; B die auf einer der

Fig. 206.



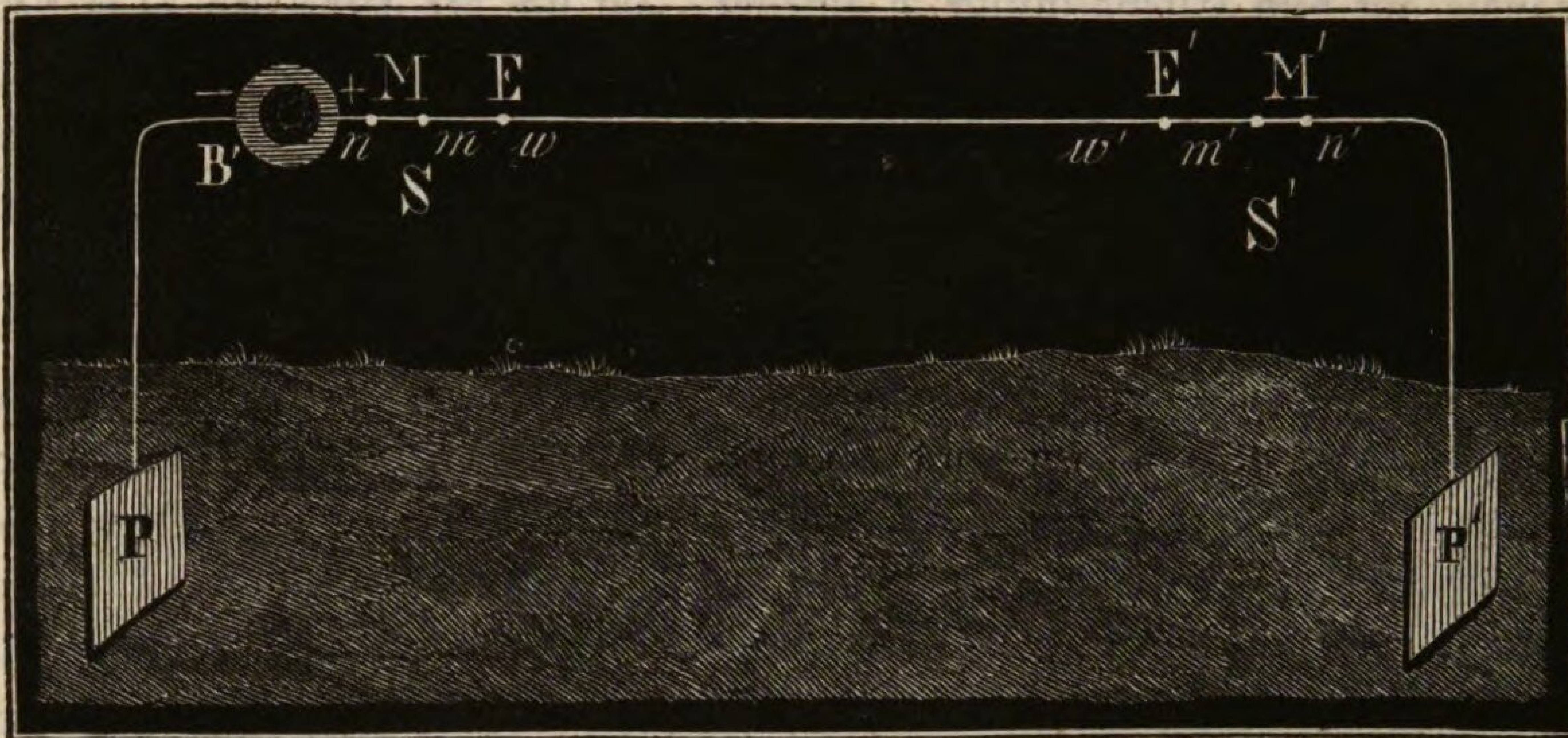
Stationen aufzustellende Batterie; M, M' die Elektromagnete nebst ihrem Räderwerke (Fig. 204); E, E' die Schlüssel (Fig. 205), w, w' den Leitungsdraht; P, P' die Erdplatten, von denen P mit dem —Pole der Batterie, P' mit dem Umwindungsdrahte des Elektromagneten M' in Verbindung steht.

In der Ruhelage sind die Schlüssel auf beiden Stationen geschlossen und es circulirt demnach der Strom der Batterie B ununterbrochen von q (Fig. 205) zu v und E, w u. s. w. überströmend durch die ganze Leitung und um die Eisenkerne von M, M'. Die Anker a (Fig. 204) sind daher bleibend angezogen und die Schreibstifte t drücken gegen das Papier.

Will die Station S eine Depesche abgeben, so öffnet sie ihren Schlüssel durch Lüftung der Schraube d' (Fig. 205), und unterbricht dadurch den Strom. Demnach fällt der Anker a (Fig. 204) sowohl auf S' als auf S

ab. Durch eine rasche Wiederholung des Schließens und Oeffnens des Schlüssels *ED* wird die Batterie abwechselnd geschlossen und geöffnet, und

Fig. 207.



das Ende *H* des Ankers *a* (Fig. 204) eben so oft gegen die Stahlschraube *i* geschnellt. Dieses Hämmern des Ankers dient dem Telegraphisten auf der Station *S'* als Signal für den Anfang des Telegraphirens. Letzterer setzt also sein Räderwerk in Bewegung; der Papierstreifen *PP'* bewegt sich in Folge dessen langsam am Stifte *t* vorbei.

Indem nun der Telegraphist in *S* den Arm *D* mit dem Hammer *v* des Schlüssels einen Moment auf den Amboß *q* niederdrückt, also den Schlüssel momentan schließt, wird auf der Station *S'*, wo der Schlüssel die geschlossene Stellung beibehält, von dem Schreibstift ein Punkt gesetzt; hält der Telegraphist in *S* den Schlüssel einige Augenblicke hindurch geschlossen, so erzeugt der Schreibstift auf *S'* eine Linie. Bleibt der Schlüssel in *S* so lange offen, als Zeit nöthig ist, um drei Punkte zu machen, so entsteht in *S'* auf dem Papier in der Reihe der Eindrücke eine Lücke, welche das Ende eines Buchstaben anzeigt, während eine doppelt so große Lücke als Signal für das Wortende gilt. — 10 bis 20 dicht hinter einander folgende Punkte oder auch eine lange Linie zeigen das Ende der Depesche an, worauf die empfangende Station *S'* ihr Räderwerk arretirt und die arbeitende Station *S* ihren Schlüssel schließt.

Als bestes Material für den Schreibstift hat sich nach vielen Versuchen mit Bleistiften, Dinten und allen möglichen Pigmenten, ein aus dem härtesten Stahl angefertigter Stift erwiesen; einmal gehörig geschärft und gestellt, macht er, ohne das Papier zu zerreißen, seine Eindrücke in dasselbe, die scharf genug sind, um leicht erkannt zu werden.

In dieser Form kam Morse's Telegraph zuerst auf der telegraphischen Linie zwischen Baltimore und Washington zur Anwendung. Die beiden Erdplatten *P, P'* waren von Kupfer, 5 Fuß lang und $2\frac{1}{2}$ Fuß breit.

Das Morse'sche Alphabet, in welchem längere und kürzere Striche vorkamen, und das überhaupt nach Maßgabe der englischen Schrift gebildet war, wird jetzt nicht mehr gebraucht; man wendet gegenwärtig zur Darstellung von Signalen nur Punkte und kurze Striche von gleicher Länge an; auf das für die deutsche Correspondenz eingerichtete Alphabet kommen wir in der Folge noch zurück.

Das Uebertragungsprincip und das Relais. Da behufs des 224
Betriebs eines Telegraphen der Strom in der Regel bedeutend lange und noch dazu feine Drähte zu durchlaufen hat, seine Intensität aber eben hierdurch sehr geschwächt wird, und außerdem durch den Mangel einer vollständigen Isolirung der Drahtleitung vom Erdboden ein beträchtliches Quantum des Stromes auf Nebenwegen seinen Kreislauf vollendet, ohne das Ende der Leitung und die daselbst eingeschalteten Zeichengeber erreicht zu haben: so reichen zum Betriebe derjenigen Apparate, welche einen schweren Gang haben und eine bedeutende Tragweite entwickeln sollen, die gewöhnlichen und die im Vorhergehenden beschriebenen Mittel nicht mehr aus.

In solchen Fällen läßt man die Hauptbatterie, deren Strom durch den ganzen Leitungsdraht nach der entfernten Station hingeleitet wird, und daher Leitungsbatterie genannt wird, nicht mehr direct auf die Elektromagnete der entfernten Zeichengeber einwirken, sondern man verwendet diesen Strom bloß dazu, um daselbst irgend eine kleine Bewegung zu erzeugen und dadurch eine zweite, hier stehende Batterie, Localbatterie genannt, abwechselnd zu öffnen und zu schließen. Die Localbatterie wirkt dann direct auf die Elektromagnete des Zeichengebers und besteht meistens, weil ihr Strom nur sehr kurze und dicke Drähte ohne alle Nebenschließung zu durchlaufen hat, also auf seinem Wege nur sehr wenig geschwächt wird, aus wenigen Elementen.

Die Vorrichtung, auf welche die entfernte Leitungsbatterie einwirkt und die ihrerseits wieder die Localbatterie öffnet und schließt, heißt Uebertrager oder Relais. Das Princip ist bei ihnen allen dasselbe; die Construction ihrer einzelnen Theile und die Art ihrer Einschaltung zwischen den Leitungsdraht und den Apparat ist durch die Einrichtung des Zeichengebers, mit dem sie in Verbindung stehen, bedingt.

Wheatstone (Dingler's Journal Bd. 72, S. 215 ff.) hat dieses Princip zuerst, im Jahre 1839, aufgestellt und davon eine sinnreiche Anwendung auf seinen elektromagnetischen Wecker gemacht. Im Jahre 1845 brachte Morse einen vervollkommneten Apparat von Amerika nach Paris und deponirte ihn dort, ohne ihn vorgezeigt zu haben, auf der amerikanischen Gesandtschaft (Compt. rend. 1846, Bd. 23, S. 880).

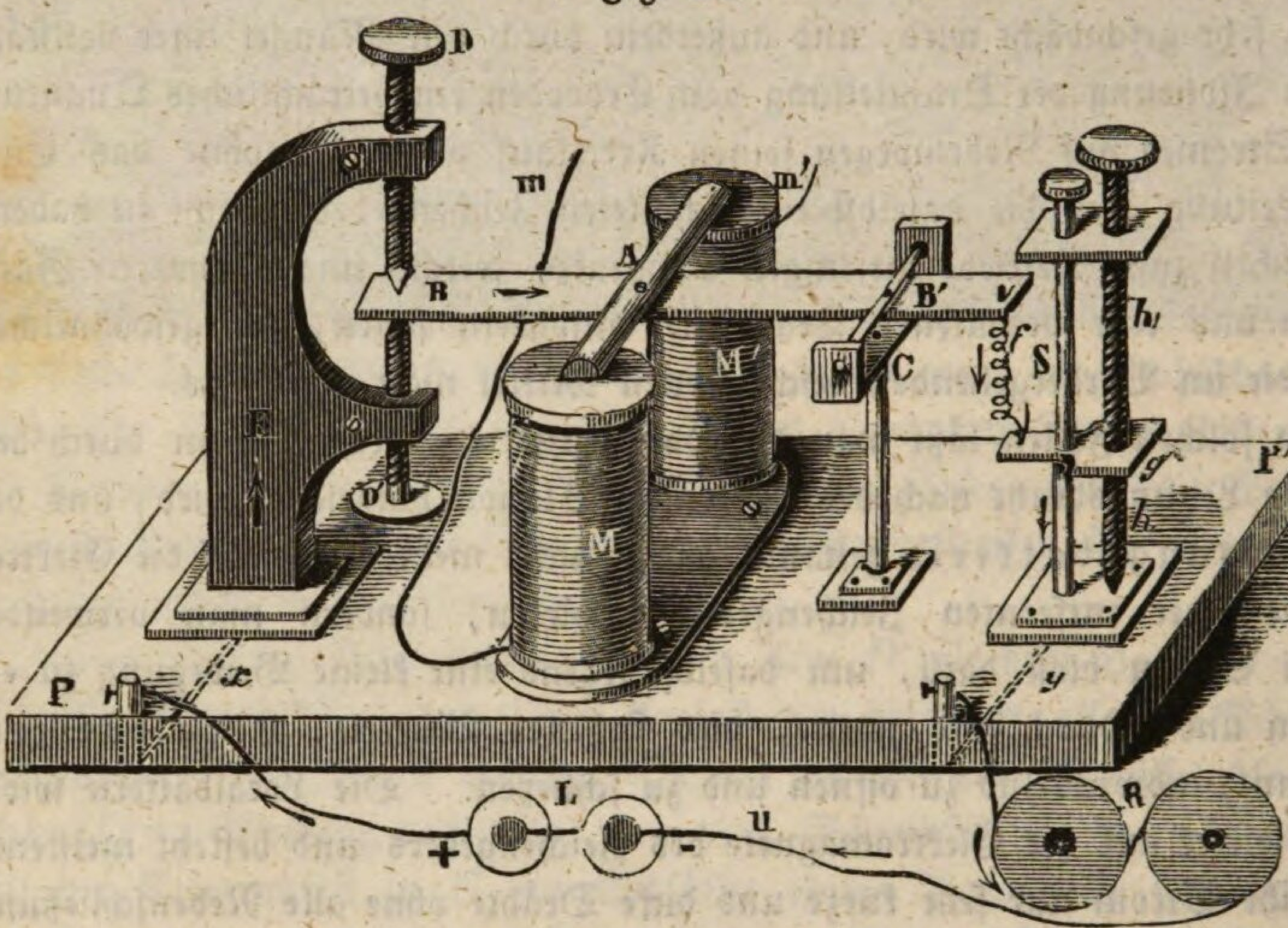
In der neuesten Zeit haben sich Robinson, Halske, Siemens, Kramer und Stöhrer mit der Verbesserung dieser Vorrichtungen be-

schäftigt und gegenwärtig sind dieselben fast auf allen längeren Linien in der einen oder der anderen Gestalt in Anwendung.

Am interessantesten und am meisten gebraucht ist das Relais zu Morse's Telegraph, wie es gegenwärtig auf fast allen längeren Linien Amerikas, Preußens (Berlin — Deutz, Berlin — Hamburg, Berlin — Frankfurt), Oesterreichs u. a. in Anwendung ist.

In Fig. 208 ist *MM'* ein Elektromagnet mit sehr vielen Umwindungen eines feinen Kupferdrahtes; *A* der auf dem Hebel *BB'* befestigte Anker

Fig. 208.



desselben. Der Hebel *BB'* ist in den Pfannen des Ständers *C* leicht drehbar und liegt mit seinem Ende *B* zwischen den Spitzen zweier Schrauben *D* und *D'*, von denen die obere *D* von Elfenbein ist, die andere aber mit dem Metallkörper des Trägers *E* in leitender Verbindung steht. Eine Spiralfeder *f*, die an dem verschiebbaren Plättchen *g* befestigt ist und durch die Schraube *h* je nach Bedürfniß angespannt oder nachgelassen werden kann, hält den Anker *A* von den darunter liegenden Eisenkernen des Elektromagneten *MM'* entfernt und drückt das Ende *B* gegen die Elfenbeinspitze der Schraube *D* lose an, so lange kein Strom durch die Windungen von *MM'* circulirt; wird aber dieser Strom eingeleitet, so giebt die Feder *f* nach, *A* wird angezogen und der Messinghebel *BB'* tritt mit der unteren Schraube *D'*, so wie mit *E* in metallische Verbindung. Alle diese Theile *E*, *MM'*, *C*, *S* und *h*, sind durch Elfenbeinplättchen, auf denen sie stehen, von einander isolirt. Von den Metallständern *E* und *S* aus gehen unter der hölzernen Gestellplatte *PP'* die Drähte *x*, *y* zu zwei Drahtklemmen, die das Relais mit der Localbatterie und dem Räderwerke (Fig. 204) verbinden.

In der Fig. 208 stellt R den Elektromagneten dieses Räderwerkes, L die Localbatterie vor; die Art und Weise der Einschaltung dieser Theile in das Relais ist aus der Zeichnung ohne Weiteres verständlich. Die Enden m, m' des Umwindungsdrahtes von MM' im Relais mögen nach der entfernten Station hingeleitet und dort mit den Polen der Leitungsbatterie verbunden gedacht werden.

Wird nun die Leitungsbatterie geschlossen, so wird auf der entfernten Station der Anker A angezogen und es tritt B mit D' in Berührung. Dadurch ist aber die Localbatterie L geschlossen und liefert einen Strom in der Richtung $+$, x, E, D', BB', f, g, S, y, um R, u, $-$, in Folge dessen der Schreibstift t (Fig. 204) einen Punkt oder, bei längerer Dauer des Stromes um MM', eine Linie macht. Sobald die Leitungsbatterie auf der entfernten Station unterbrochen wird, zieht die Feder f im Relais den Anker A wieder ab, B verläßt die Schraube D' und lehnt sich gegen D an, der Localstrom aus L ist also ebenfalls unterbrochen und der Schreibstift in R fällt wieder ab.

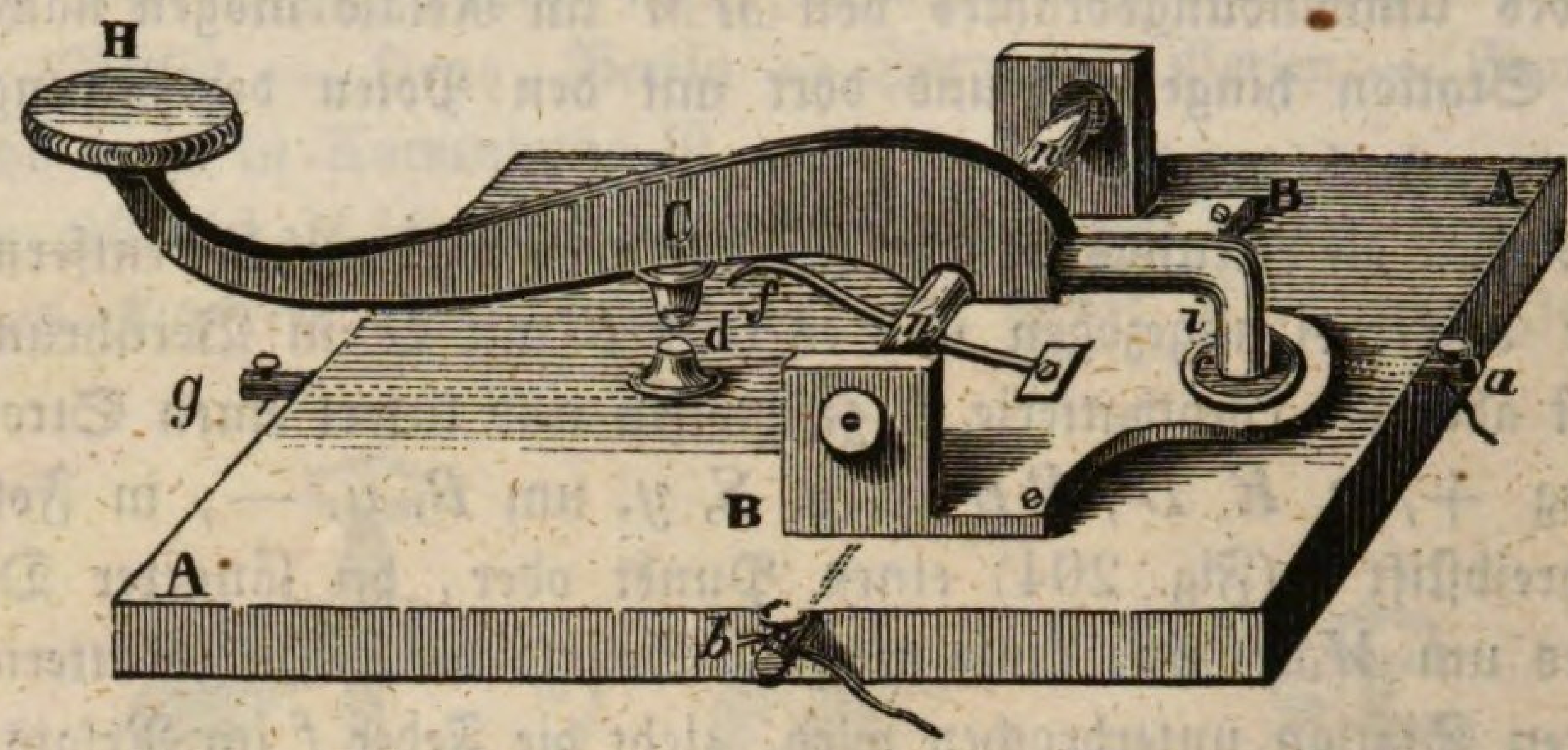
Mittelst dieses Relais oder Uebertragers erlangt der Morse'sche Telegraph, der ohne dasselbe wegen des bedeutenden Kraftaufwandes, den der Schreibstift erfordert, entweder nur auf kürzeren Strecken zu gebrauchen ist, oder auf längeren Linien eine unverhältnißmäßig große Batterie erfordert, bei einer kleinen Batterie eine sehr bedeutende Tragweite; denn da der durch die Drahtleitung circulirende Hauptstrom nur den leicht beweglichen Anker des Relais zu führen hat, wozu eine ganz geringe Kraft ausreicht, der Localstrom aber beliebig stark gemacht werden kann, so vermag der Schreibstift auf 100 und mehre Meilen Entfernung ohne Zwischenstationen mit großer Bestimmtheit seine Zeichen zu geben.

Es bleibt noch übrig, um eine vollständige Anschauung von der Art und 225
Weise zu erhalten, wie gegenwärtig Morse's System mit dem Relais zwischen sehr weit von einander entfernten Stationen (Berlin — Cöln) zur directen Correspondenz (d. h. ohne Anwendung von Zwischenstationen) in Anwendung kommt, die Einschaltungsweise des Räderwerkes, des Schlüssels, der Leitungs- und der Localbatterie, so wie des Relais in dem Leitungsdraht näher anzugeben.

Der Schlüssel hat hierbei folgende von der in Fig. 205 angegebenen Construction etwas abweichende Einrichtung: Der Drücker H (Fig. 209 f. f. S.) steht durch seine Drehaxe nn und deren Lager BB mit der Drahtklemme b in beständiger Verbindung; außerdem kann er durch Niederdrücken mit dem Messingamboß d, der durch einen Draht mit der Klemme g verbunden ist, in Berührung gebracht werden, während er im Ruhezustande mit seinem Vorderende i auf einem von dem Lager BB durch einen Elfenbeinring isolirten, und mit der Drahtklemme a verbundenen Metallstück,

das in der Zeichnung schraffirt erscheint, aufsteht; die Feder *f* drückt nämlich den Vorderarm *HC* stets aufwärts. In diesem Zustande, wo *C* von

Fig. 209.



d getrennt ist, heißt der Schlüssel **offen**, im andern Falle, wenn *C* gegen *d* niedergedrückt wird, heißt er **geschlossen**.

Die schematische Figur 210 erläutert nun das Arrangement der drei Hauptheile, des **Räderwerkes** *R* (Fig. 204 *), des **Relais** oder des **Uebertragers** *Ü* (Fig. 208) und des **Schlüssels** *Sch* (Figur 209), so wie die Einschaltungsweise der **Leitungsbatterien** *z' k''* und *k' z''*, der **Localbatterien** *L* und den übrigen Theil des Drahtverlaufes für zwei mit einander correspondirende Stationen, z. B. **Berlin** und **Cöln**.

Die einzelnen Theile des Relais so wie des Schlüssels sind hier mit denselben Buchstaben bezeichnet, mit denen dieselben Theile in den bezüglichen Figuren 208 und 209 bezeichnet sind.

K, *K* bezeichnen die **Erdplatten**; der sich zwischen *z* und *k* erstreckende Draht ist der entweder auf Stangen durch die Luft ausgespannte, oder, wie in Preußen, in einer Gutta-Percha-Hülle eingeschlossene Leitungsdraht.

In dem Ruhezustande des Telegraphen ist auf beiden Stationen der Schlüssel **offen**, d. h. es steht der Hebel *HCi* (Fig. 209) und seine Axe *nn*, daher auch *b* und *K*, mit *c* und *a* in Verbindung. Dadurch ist sowohl jede Localbatterie, als auch jede Leitungsbatterie offen, denn der Strom der erstern findet bei *E* (Fig. 208), der Strom der letztern bei *d* (s. Cöln) keine weitere Leitung.

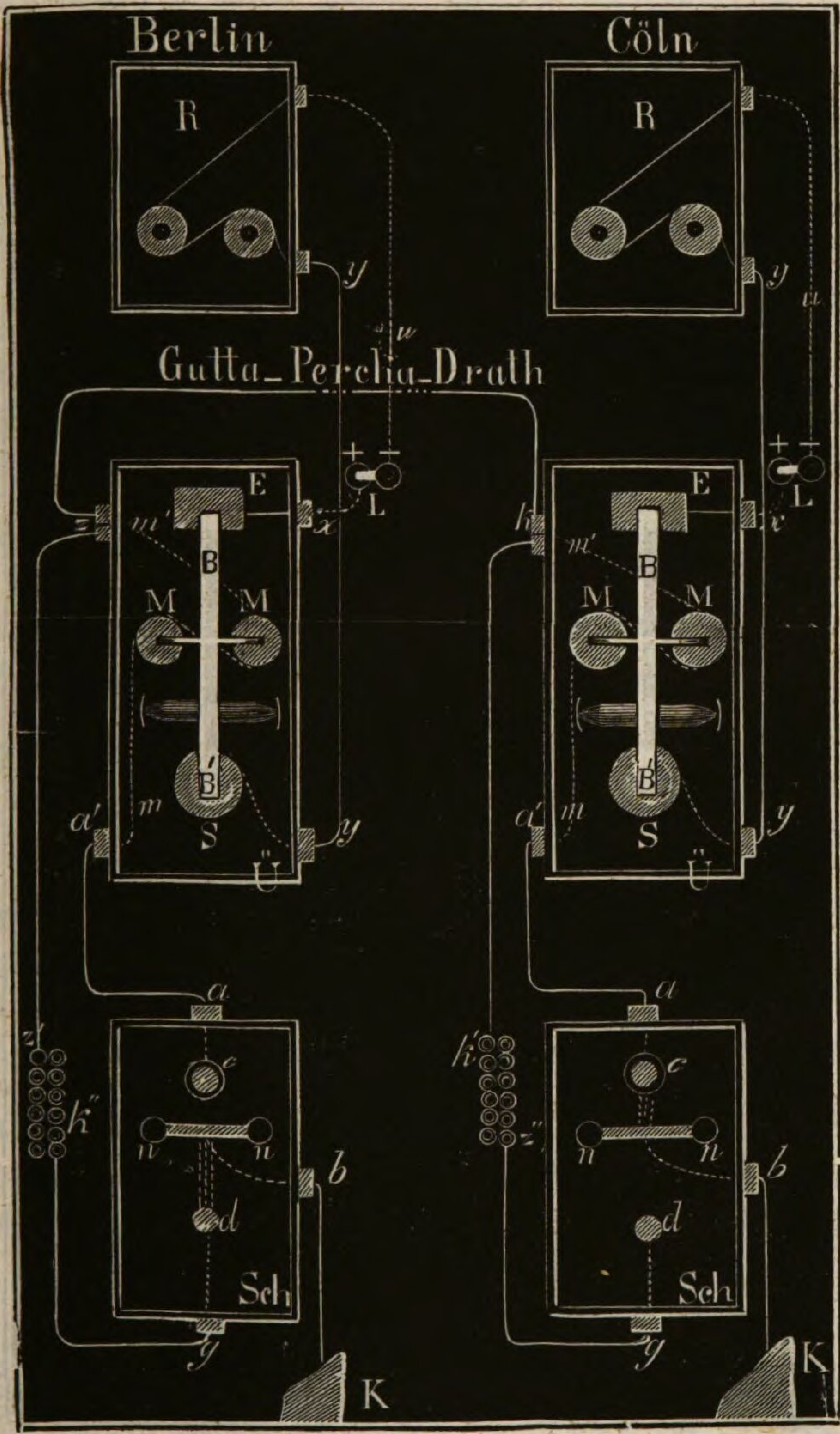
Berlin will nun eine Depesche abgeben: Der Telegra-

---

*) Die Stücke *m*, *m'*, *Dd'w* dieser Figur sind im Gedanken zu entfernen, und die Drahtenden des Elektromagneten zu befestigen, wie es die Figur 210 angiebt.

phist in Berlin drückt den Griff *H* (Fig. 209) nieder und schließt den Schlüssel, wodurch *d* mit *nn* und *b* in Verbindung tritt, die Verbindung zwischen *nn* und *c* aber aufgehoben wird. Hierdurch ist die Berliner Leitungsbatterie geschlossen und liefert einen Strom in der Richtung *k''*, *g*, *d*, *nn*, *b*, *K*, durch die Erde nach Cöln, in Cöln: *K*, *b*, *nn*,

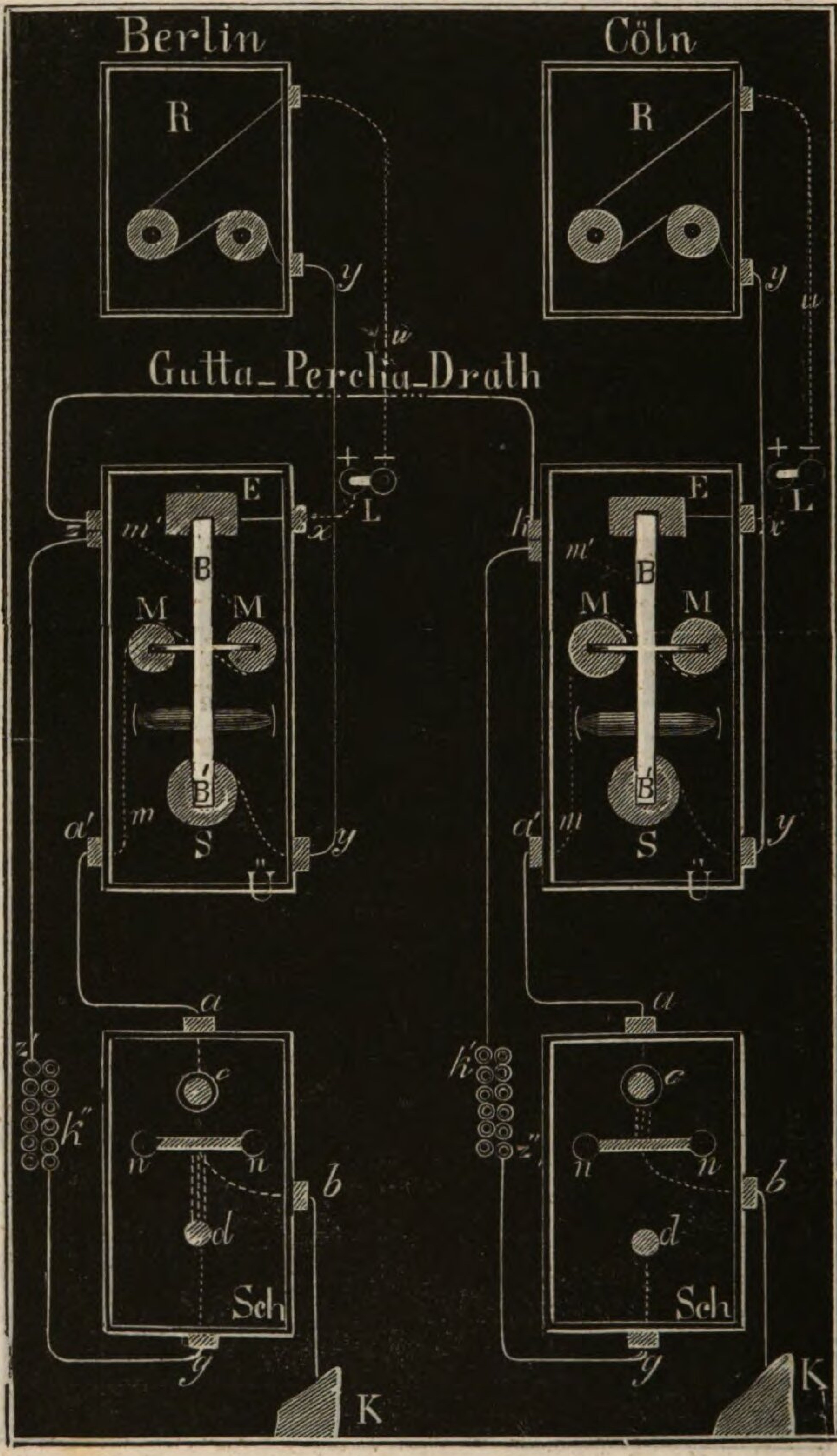
Fig. 210.



c, *a*, *a'*, *m*, *MM*, *m'*, *k*, durch den Leitungsdraht nach Berlin zurück, in Berlin: *zz'*.

Der Berliner Strom magnetisirt also den Elektromagneten *MM* des Cölner Relais, wodurch, wie in Nr. 14 gezeigt wurde, in Cöln der Hebel *BB'* mit *E* in Verbindung tritt, die Localbatterie *L* geschlossen,

Fig. 211.



und ein Strom in der Richtung $+$, x, E, BB', S, yy, R, u, — um den Elektromagneten des Schreibstiftes geleitet wird, in Folge dessen der letztere einen Eindruck auf das Papier macht.

Wenn der Berliner Telegraphist den Schlüssel wieder öffnet, fällt in Cöln zunächst der Anker des Relais wieder ab, in Folge dessen aber wird die Localbatterie L wieder geöffnet und der Schreibstift fällt ab. So lange aber in Berlin der Schlüssel geschlossen bleibt, eben so lange drückt der Cölner Schreibstift gegen sein Papier, und erzeugt, wenn letzteres in Bewegung ist, auf demselben eine Linie.

Ein rasch hinter einander folgendes Hämmern mit dem Schlüssel in Berlin, hat also ein Hämmern des Hebels H (Fig. 204) gegen i in Cöln zur Folge, und dieses dient hier als Signal für den Beginn des Telegraphirens. Der Cölner Telegraphist setzt sofort sein Räderwerk in Bewegung und fängt an, die auf Papierstreifen entstehende Depesche zu bechiffriren. Sobald das Signal für das Ende der Correspondenz angekommen ist, arretirt der Cölner Telegraphist sein Räderwerk und giebt sogleich durch Hämmern mit seinem Schlüssel das Signal, daß er antworten will. Nun löst der Berliner Telegraphist sein Räderwerk aus und empfängt die Meldung von Cöln, ob die Depesche verstanden ist oder nicht u. s. w.

Die vorstehend beschriebenen Morse'schen Vorrichtungen stehen alle, sammt dem Siemens-Halske'schen Zeiger-Apparate mit einem einzigen Leitungsdraht in Verbindung, und zwar vermittelst eines äußerst sinnreich construirten Wechselapparates, der bald die Morse'schen, bald die Siemens-Halske'schen Theile zwischen den Leitungsdraht und die Erdplatte einschaltet. (Schellen's Telegr. S. 242.)

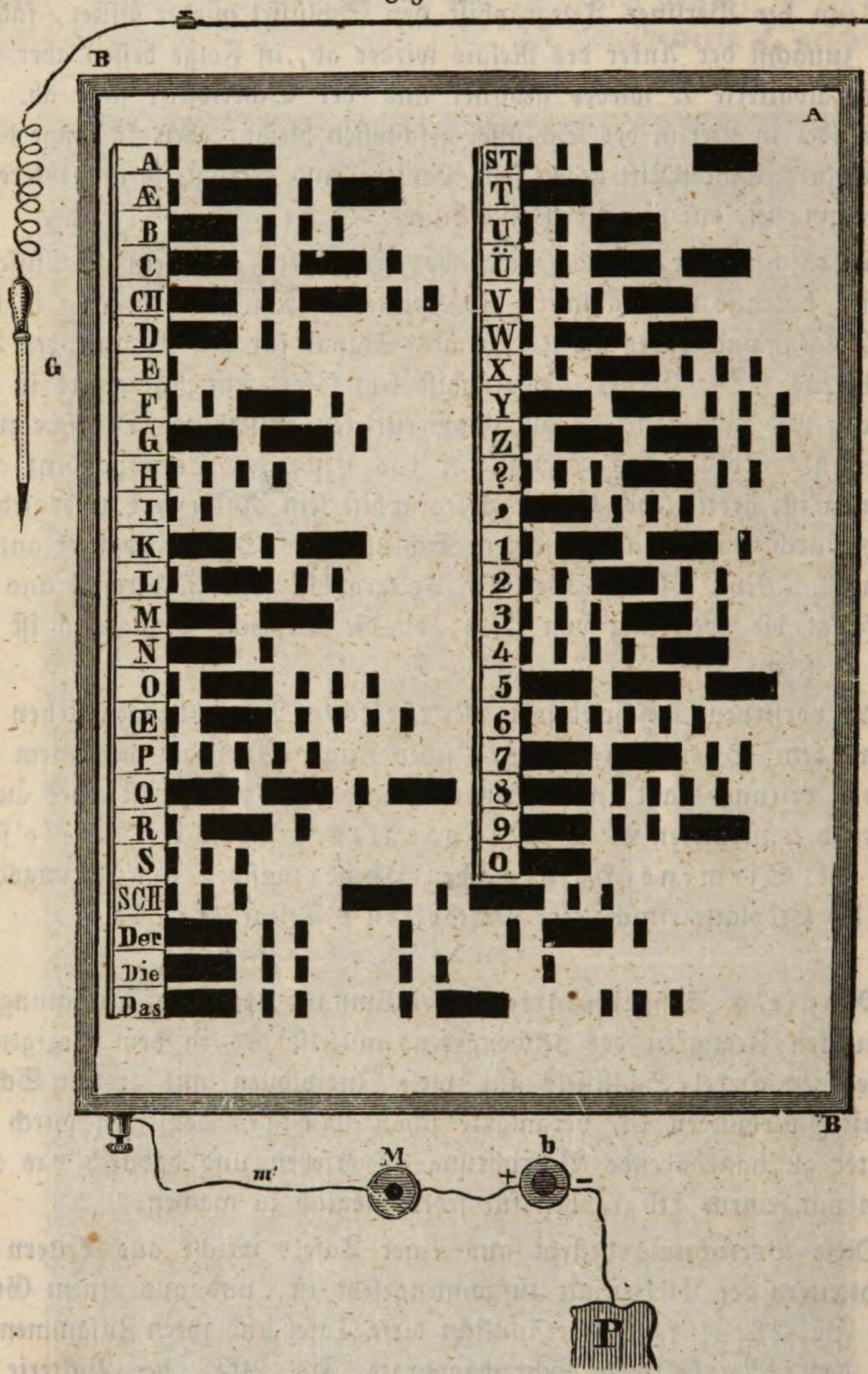
Morse's Schreibplatte. Der Umstand, daß die Aneignung der manuellen Fertigkeit des Zeichengebens mittelst des in dem Vorigen beschriebenen Hebel-Schlüssels für viele Individuen mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, veranlaßte schon Morse, denselben durch eine leichter zu handhabende Vorrichtung zu ersetzen und dadurch das Operiren mit seinem Telegraphen für jeden möglich zu machen. 226

Diese Vorrichtung besteht aus einer Tafel, welche aus Leitern und Nichtleitern der Elektricität zusammengesetzt ist, und aus einem Griffel. Die Fig. 212 (s. f. S.) versinnlicht diese Tafel und ihren Zusammenhang mit dem Morse'schen Schreibapparate (Fig. 203), der Batterie und dem Griffel.

Die schwarzen Rechtecke der Tafel A sind von Metall, die weißen Theile derselben von Elfenbein. Jene gehen durch das Elfenbein fest an=

liegend hindurch und sind unterhalb der Elfenbeinplatte *A* an einer gemeinsamen Metallplatte *B B* angelöthet.

Fig. 212.



Diese Leitplatte *B* wird nun statt des Hügels (Amboß) *q* im Morse'schen Schlüssel (Fig. 204) in die Drahtleitung gebracht, d. h. durch den Draht *m'* mit den Umwindungen des Elektromagneten *M* im Schreibap-

parat (Fig. 203) in Verbindung gesetzt. Der von der entfernten Station kommende Leitungsdraht *w*, welcher in Fig. 204 bei *E* des Schlüssels eingeschraubt ist, ist hier mittelst eines dünnen, spiralförmig gewundenen, gut isolirten Drahtes an den metallenen Kopf eines elfenbeinernen Griffels *G* befestigt, durch welchen, wie das Blei in einer Bleifeder, ein Kupferdraht hindurchgeht, der in eine rundlich zulaufende Spitze von Platina endigt.

Setzt man den leitenden Griffel *G* auf eines der Metallstücke der Platte *A*, so wird die Batterie *b* begreiflicher Weise ebenso geschlossen, als ob in Fig. 204 der Hebel *D* des Schlüssels auf den Metallamboß *q* niedergedrückt worden wäre; denn der Strom circulirt vom + Pole aus durch die Umwindungen des Elektromagneten *M* im Schreibapparate über *m'* nach der Leitplatte *B B* und den schwarzgezeichneten Metallstücken der Platte *A*, von wo er durch den Griffel *G* zu dem Leitungsdrahte *w* und der entfernten Station gelangt. Im Ruhezustande müssen daher, damit die Leitung nirgendwo unterbrochen sei und ein Continuum bilde, auf beiden Stationen die Griffel auf dem Metall der Platte *A* ruhen. Setzt man dagegen den Griffel auf eines der Elfenbeinstücke, so wird die Leitung unterbrochen, die Batterie geöffnet und der Strom abgeschnitten.

Sind daher die in der Elfenbeinplatte *A* eingelegten Metallstücke nach dem richtigen Verhältnisse des Morse'schen oder sonst gewählten Alphabetes bemessen und für jeden Buchstaben reihenweise eingesetzt, wie die schwarzen Felder in der Zeichnung zeigen, und führt man den Griffel in gerader Linie über eine Reihe solcher eingelegten Stückchen, so punktirt und strichelirt der Morse'sche Schreibstift (Fig. 203) auch die Zeichen genau nach demselben Verhältnisse; denn der Schluß und die Unterbrechung des Stromes erfolgt genau nach dem Längenverhältnisse der in die Platte *A* eingesetzten Stückchen und ihrer Zwischenräume. So lange nämlich der Griffel auf Metall steht, bleibt der Strom hergestellt und der Schreibstift in Fig. 203 angedrückt, so lange er über Elfenbein geht, bleibt der Strom unterbrochen. Daher bringt ein Gang des Griffels über ein kurzes Metallstück in den Schreibapparat einen Punkt, ein gleichmäßiger Gang über ein Elfenbeinstück eine Lücke hervor.

Die Zeichnung ist nach dem folgenden Alphabete angeordnet, welches abweichend vom Morse'schen nur Punkte und Striche von gleicher Länge enthält und sich erfahrungsgemäß als sehr zweckmäßig herausgestellt hat *):

---

*) Anmerk. Nach diesem Alphabete wird u. A. auch in Preußen, Hannover, auf der Hamburg-Curhavener Linie gearbeitet. — Prof. Meißner in Braunschweig ist unabhängig von Morse auf dieselbe Idee gekommen, den Morse'schen Schlüssel durch die Schreibplatte zu ersetzen und nach

a • —	d — • •	i • •	o • — • • •	s • • •
ä • — • —	e •	k — • —	ö • — • • • •	t —
b — • • •	f • • — •	l • — • •	p • • • • •	u • • —
c — • — •	g — — •	m — —	q — — • —	ü • • — —
ch — • — • •	h • • • •	n — •	r • — •	v • • • —
w • — —	1 • — — •	6 • • • • • •	? • • • — • •	
x • • — • • •	2 • • — — • •	7 — — • •	/ — • • •	
y — — • • •	3 • • • — •	8 — • • • •	, — • • •	
z • — — • •	4 • • • • —	9 — • • —		
	5 — — —	0 ——		

Es ist von selbst klar, daß während des Arbeitens der Griffel *G* auf der empfangenden Station dauernd auf dem Metall der Platte *A* oder *B* stehen muß. Auch hat sich als Erfahrungssache herausgestellt, daß man, um zu telegraphiren, mit dem Griffel ganz ruhig, langsam und gleichmäßig über die Zeichen fahre, dafür aber nicht zu viel Zeit verstreichen lasse, um den nächstfolgenden Buchstaben aufzusuchen.

Um das Abgleiten von einer Buchstabenreihe zu verhüten, überdeckte Morse die Buchstabenplatte *A* noch mit einer nicht leitenden Richtplatte, welche mit langen schmalen Oeffnungen versehen ist und so auf die Buchstabenplatte *A* gelegt wird, daß jeder Buchstabe genau unter einer solchen Oeffnung steht. Beim Telegraphiren fährt der Signalist dann mit dem Griffel durch diese Oeffnungen hindurch, wie als ob er an einem Lineal gerade Linien zöge.

In Amerika ist diese Schreibplatte häufig im Gebrauche; in Deutschland arbeitet man dagegen mit dem Schlüssel.

227 **Der Doppelstift-Apparat von E. Stöhrer.** Unter der geschickten Hand Stöhrer's hat das amerikanische System eine Abänderung erhalten, die bereits in Sachsen und in Baiern mehrfach in Anwendung ist. Stöhrer wendet unter Beibehaltung eines einzigen Leitungsdrahtes zwei Elektromagnete am Räderwerke mit zwei Schreibstiften an, welche vermittelst eines Relais nach der Willkür des entfernten Telegraphisten unter Anwendung zweier Schlüssel einzeln in Bewegung gesetzt werden können. Dieser hat demnach über 4 Elementarzeichen zu verfügen, einen obern und einen untern Punkt, eine obere und eine

---

den von ihm angestellten Versuchen ist jeder Telegraphist binnen ganz kurzer Zeit im Stande, damit sicher zu arbeiten und ohne Anstrengung, ja mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit, ohne zu ermüden, die längsten Depeschen zu befördern.

untere Linie, ähnlich wie bei Steinheil. Das Stöhrer'sche Alphabet ist folgendes:

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
			—			—·	·—	·	·	··	·		
	—	—·	·	·—	·			··	·	··		···	··

	o	p	q	r	s	t	u	v	w	z	u. s. w.
	···	—		··	·	·	—	·	··	·	
		·	·—·		·	·		—	·	··	

Da hierbei die einzelnen Buchstaben im Allgemeinen durch weniger Elementarzeichen repräsentirt werden, als bei dem Einstift-Apparate, so ist klar, daß die Geschwindigkeit, mit welcher der Stöhrer'sche Apparat arbeitet, weit größer ist, als bei dem Morse'schen. Siemens hat das Stöhrer'sche Relais bedeutend verbessert.

Die elektromagnetischen Wecker. Es stellte sich bei der fort- 228 schreitenden Entwickelung der Telegraphie sehr bald das Bedürfniß ein, neben den sichtbaren Signalen auch hörbare geben zu können, um dadurch auf den Beginn des Telegraphirens aufmerksam zu machen, überhaupt aber um dadurch von der Ferne her die mit der Aufsicht über eine Maschine oder eine Eisenbahnstrecke beauftragten Wärter auf ihren Posten rufen zu können.

Sömmering und Schilling construirten schon Wecker, um die Aufmerksamkeit des Telegraphisten zu erregen; sie beruhten auf der Zersetzung des Wassers und erfüllten ihren Zweck nur zum kleinsten Theile.

Erst Wheatstone (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 215.) löste diese Aufgabe vollständig. Anfänglich ließ er das hebelförmig verlängerte Ende des Ankers eines Elektromagneten direct auf eine Glocke schlagen; aber die anziehende Kraft des Magneten war bei bedeutendern Entfernungen nicht stark genug, um einen etwas schweren Hammer mit der erforderlichen Kraft gegen die Glocke zu führen. Er verwandte daher die elektromagnetische Anziehung nur dazu, um einen leichten, im Ruhestande das Räderwerk eines gewöhnlichen Weckers oder Uhrschlagwerkes arretirenden Anker anzuziehen, durch diese Bewegung die Hemmung auszulösen und das Schlagwerk ablaufen zu lassen.

Man kann alle gegenwärtig in Anwendung kommende Wecker, Alarms, Glockenapparate, Signalgeläute oder wie sie sonst heißen mögen, in zwei Klassen bringen: Wecker mit und ohne Uhrwerk.

Die ersteren sind die gewöhnlichern und zerfallen wieder in zwei Klassen. In dem einen Falle hat das Uhrwerk der Glocke einen auf dem Anker des Elektromagneten sitzenden Sperrer, der das Räderwerk so lange arretirt, als der Elektromagnet nicht vom Strome umkreiset ist. So oft dann der Telegraphist die Batterie schließt, wird auf der Glockenstation

der Anker angezogen, dadurch die Hemmung ausgelöst, das Uhrwerk in Bewegung gesetzt und die Glocke zum Ertönen gebracht. Unterbricht der Telegraphist den Strom, so greift der abfallende Anker wieder in die Zähne des Räderwerkes ein und setzt dasselbe in Stillstand. Dahin gehört auch die Einrichtung, wobei im Ruhezustande der Anker den Wecker arretirt, beim ersten Anziehen aber das Uhrwerk frei macht und es vollständig ablaufen läßt. Bei dieser Vorkehrung ist nach jedem Wecken ein Aufziehen des Werkes nöthig.

In dem andern Falle kann der Telegraphist immer nur eine ganz bestimmte Anzahl von Einzelschlägen hervorrufen. Dann enthält eines der Räder auf seinem Umfange ebenso viele Daumen, als die Glocke jedesmal Schläge thun soll. Die Daumen wirken auf den hebelförmig verlängerten Klöppel der Glocke; bei einem Umlaufe des Rades wird daher der Klöppel so oftmal niedergedrückt, als Daumen vorhanden sind. Das Werk kommt dadurch zum Stillstande, daß der letzte Daume einen Vorsprung hat, mit dem er gegen den nicht angezogenen Anker des Elektromagneten anhält. Wird der Anker angezogen, so wird dieser Vorsprung frei und das Werk bleibt so lange in Bewegung, bis nach vollendetem Umlaufe des Daumenrades der Vorsprung des letzten Daumens sich gegen den mittlerweile wieder frei gewordenen Anker anlegt.

Von dieser Art sind die Signalglocken, welche man hier und da auf den Wärterhäuschen einer Eisenbahnlinie antrifft und die in der Regel bei jeder Auslösung durch den Strom 12 oder 24 Glockenschläge geben als Signal, daß der Zug von der benachbarten Station in der einen oder der andern Richtung abgefahren ist. Durch einen einfachen Druck auf einen Knopf oder durch Umlegen eines Hebels schließt und öffnet ein Beamter die Batterie, sobald der Zug sich in Bewegung setzt.

Die Wecker ohne Uhrwerk zerfallen ebenfalls in zwei Klassen. In dem einen Falle wirkt der Anker des Elektromagneten direct auf den Klöppel der Glocke, und es muß daher der Telegraphist für jeden Glockenschlag seine Batterie schließen und wieder öffnen. Sie sind nicht mehr im Gebrauche, weil für größere Entfernungen eine sehr starke Batterie dazu erforderlich ist, um den Elektromagneten bis zu dem Grade zu magnetisiren, daß er durch Anziehung seines Ankers kräftige und weit hörbare Schläge hervorbringen kann.

In dem andern Falle hat der Telegraphist nur ein einzig Mal die Batterie zu schließen, um die entfernte Glocke in ein fortdauerndes Geläute zu versetzen, das so lange anhält, als die Batterie in Wirksamkeit bleibt. Man kann diese Art Geläute, die in physikalischer und mechanischer Beziehung die interessantesten sind, die continuirlichen Wecker oder Wecker mit Selbstunterbrechung nennen. So viel bekannt, hat

gegenwärtig nur Siemens=Halske's Telegraph und deren Ausschalter eine derartige Vorrichtung.

Bakewell's elektro=chemischer Telegraph. Die Londoner illustrirte Zeitung vom 23. November 1850 theilt eine von Bakewell neu erfundene Anwendung der galvanischen Elektricität auf die Telegraphie mit, welche des einfachen Principes wegen auf den ersten Augenblick die größte Aufmerksamkeit auf sich zieht, näher ins Auge gefaßt, aber für die practische Anwendung nicht unerhebliche Schwierigkeiten mit sich führen dürfte. 229

Der beschriebene Apparat (Telegraph) besteht aus einer metallenen Walze, welche durch ein Uhrwerk regelmäßig und sehr rasch herumgedreht wird, am Ende dieser Walze sitzt auf derselben Achse ein Zahnrad, welches in ein davor liegendes zweites Zahnrad eingreift. Dieses zweite Zahnrad sitzt auf einer Schraubenspindel, welche parallel neben der Walze in Lagern liegt, sich also mit der Walze zugleich, jedoch nach entgegengesetzter Richtung, bewegt.

Auf der Schraubenspindel bewegt sich eine lose angeklemmte gespaltene Schraubenmutter, die einen isolirten Arm, an der Spitze mit einer Klemme für einen stählernen Griffel versehen, trägt. Dieser Griffel liegt mit seiner Spitze auf der Walze und beschreibt bei der Bewegung durch das Uhrwerk eine enge Spirallinie auf derselben. Von dem positiven Pol einer galvanischen Batterie führt ein Leitungsdraht nach dem metallenen Griffel, während einerseits von der Metallwalze eine Leitungsfeder mit dem Leitungsdraht nach der entfernten Station verbunden ist, andererseits der negative Pol der Batterie an die Erdplatte führt Ein Bogen Papier angefeuchtet mit einer Auflösung von blausaurem Eisenkali und versetzt mit Salzsäure, wird um die metallene Walze gelegt, um den Apparat zur Aufnahme einer Depesche vorzubereiten. Auf der correspondirenden Station befindet sich eine ganz gleiche Vorrichtung, nur wird auf dieser Station der Bogen Papier, ehe er auf die dortige Walze gelegt wird, mit der zu telegraphirenden Depesche mit einer isolirenden Tinte, z. B. mit Firniß ꝛc. in nicht zu kleinen Buchstaben beschrieben und mit der Auflösung des oben bezeichneten Blutlaugensalzes gehörig befeuchtet.

Läßt man nun auf beiden Stationen die gleichmäßig gehenden Uhrwerke die Walzen bewegen, so strömt die Elektricität auf der ersten Station jedes Mal, wenn der Griffel auf der zweiten Station keinen Schriftzug trifft, von dem positiven Pol aus dem stählernen Griffel durch das Papier in die Walze u. s. w., erzeugt durch die Zersetzung des Eisens Berlinerblau, daher die obenerwähnte Spirallinie tief blau erscheint. So oft nun auf der zweiten Station der leitende Griffel einen isolirenden

Schriftzug trifft, wird der galvanische Strom unterbrochen und die blaue Spirallinie auf der ersten Station wird in demselben Verhältniß gleichfalls unterbrochen. Es bilden sich demnach auf der Empfangsstation die Schriftzüge weiß auf blauem Grunde.

Die Umständlichkeit des beschriebenen Verfahrens läßt, wie leicht einzusehen, noch sehr viel zu wünschen übrig, ehe Bakewell's Erfindung den Morse'schen Apparat zu ersetzen im Stande seyn wird. Eine ähnliche, unter dem Namen Copier-Apparat bekannte telegraphische Vorrichtung von Bain, hat sich bereits als unpractisch bewiesen.

230 **Die Batterie.** Die wesentlichste Anforderung, welche an eine für telegraphische Zwecke bestimmte Batterie gestellt werden muß, besteht darin, daß der Strom derselben bei einer hinreichend großen Intensität auf längere Zeit in seiner Wirkung constant bleibe. Es ist sehr leicht, Batterien zusammenzusetzen, deren Strom lange constant bleibt; aber diese Ströme sind in der Regel zu schwach, um die vielen Widerstände, welche die Drahtleitung, die Erde, die feinen Umwindungsdrähte der Elektromagnete, die Polarisation u. s. w. bieten, zu überwinden (vergl. II. Abschnitt S. 278.); die bekannten Batterien aber, welche stärkere Ströme liefern, erschöpfen sich gewöhnlich bald und verlangen eine häufige Erneuerung der Flüssigkeiten. Die Aufgabe, eine der obigen Anforderung entsprechende und für den telegraphischen Betriebsgang geeignete Batterie zu construiren, ist daher troß der vielfachsten Bemühungen noch nicht gelöst, und es sind gegenwärtig auf den verschiedenen Telegraphen-Linien die mannichfaltigsten Combinationen in Anwendung.

Auf der Linie Berlin-Cöln-Verviers z. B. sind ganz gewöhnliche Daniell'sche Batterien im Gebrauch, die jeden Abend auseinandergenommen und jeden Morgen neu zusammengesetzt werden müssen; in Amerika und zum Theil auch in Deutschland ist die Grove'sche, in Oesterreich die Smee'sche Batterie im Gebrauch. Ihr Strom ist bei weitem nicht so stark, als der aus Daniell'schen oder gar Grove'schen Zellen entwickelte ist, und sie eignen sich daher nur für die mit Strömen von geringer Intensität zu regierenden Nadeltelegraphen.

In England wird am meisten die Sandbatterie angewandt, die aus Zink, Kupfer und Sand besteht. Der Sand wird zwischen die Metallplatten in Tröge oder Fässer eingestampft und mit verdünnter Säure oder Salmiakauflösung angefeuchtet. Von Zeit zu Zeit wird der Sand begossen und alle 5 — 6 Wochen, ja auf einigen Linien 6 — 8 Monate die ganze Batterie auseinandergenommen und gereinigt. (Vergl. II. Abschn. S. 279.)

Gintl in Wien hat eine für transportable Telegraphen bestimmte

Batterie zusammengesetzt, in welcher der flüssige Leiter durch eine sehr hygroskopische Substanz ersetzt ist und aus 30 Elementen von 4 Quadratzoll Oberfläche besteht. Der Strom derselben bleibt beinahe 3 Wochen ungeschwächt, und ist kräftig genug, um auf 30 — 40 Meilen Entfernung die Nadelapparate zu afficiren.

Stöhrer giebt an (Pogg. Annal. Bd. 77, S. 486), daß man durch Zusammensetzung von Kohle mit nicht amalgamirtem Zink und unter Anwendung einer concentrirten Alaunauflösung eine Batterie von sehr constanter Wirkung erhalten könne. Eine derartige, aus 9 Elementen bestehende Combination hatte zwei Jahre lang zur Telegraphie gedient und besaß doch noch beinahe ihre ganze ursprüngliche Stärke. Sie wird in einem verschlossenen Schrank aufbewahrt und höchstens alle Monate einmal begossen.

Der einfachste galvanische Erregungsapparat wurde im Jahre 1838 an dem Göttinger Telegraphen von Gauß (Schuhmacher's Jahrb. für 1839, S. 173.) hergestellt, indem er das eine Ende des Leitungsdrahtes mit einer Kupferplatte, das andere Ende mit einer Zinkplatte verband und beide Platten in die feuchte Erde eingrub. Es entstand auf diese Weise ein einfaches Volta'sches Element, in welchem eine 3000 Fuß dicke feuchte Erdschichte zwischen den Metallplatten die Stelle einer angesäuerten Pappscheibe versah. — Bain (Dingler's Journ. Bd. 90, S. 106.) erzeugte durch eine gleiche Vorkehrung einen lange andauernden und constanten Strom und er unterhielt damit seine galvanische Uhr auf lange Zeit in regelmäßigem Gange. Es ist indessen schon im Abschn. II. S. 280 bemerkt worden, und die Erfahrungen der neuern Zeit bestätigen es, daß der Strom aus diesen Combinationen, welche man Erdbatterien genannt hat, sehr schwach und jedenfalls zu schwach ist, um für die Telegraphie mit Erfolg verwandt werden zu können.

Die ausgedehnteste Anwendung von der Erdbatterie hat Steinheil auf der von ihm längs der Eisenbahn von München nach Nanhofen im Jahre 1846 errichteten 108,000 Fuß langen Linie gemacht. Die Metallplatte in München ist aus Kupferblech von 120 Quadratfuß Fläche, in Nanhofen ein Zinkblech von derselben Größe; beide Platten sind bis in das Horizontalwasser versenkt und durch einen auf Stangen durch die Luft geleiteten Kupferdraht verbunden. Der durch diese Einrichtung erzeugte Strom ist hinreichend stark, um die zur Controle der Bahn und der Fahrten nöthigen Zeichen hervorzubringen, indessen sind die Steinheil'schen Zeichengeber höchst einfach und erfordern zu ihrer Bewegung nur eine geringe Kraft. Zum Betriebe eines Morse'schen oder eines Zeiger-Telegraphen fehlt es der Erdbatterie durchaus an Kraft.

Endlich wiederholen wir, was schon oben im Vorbeigehen erwähnt

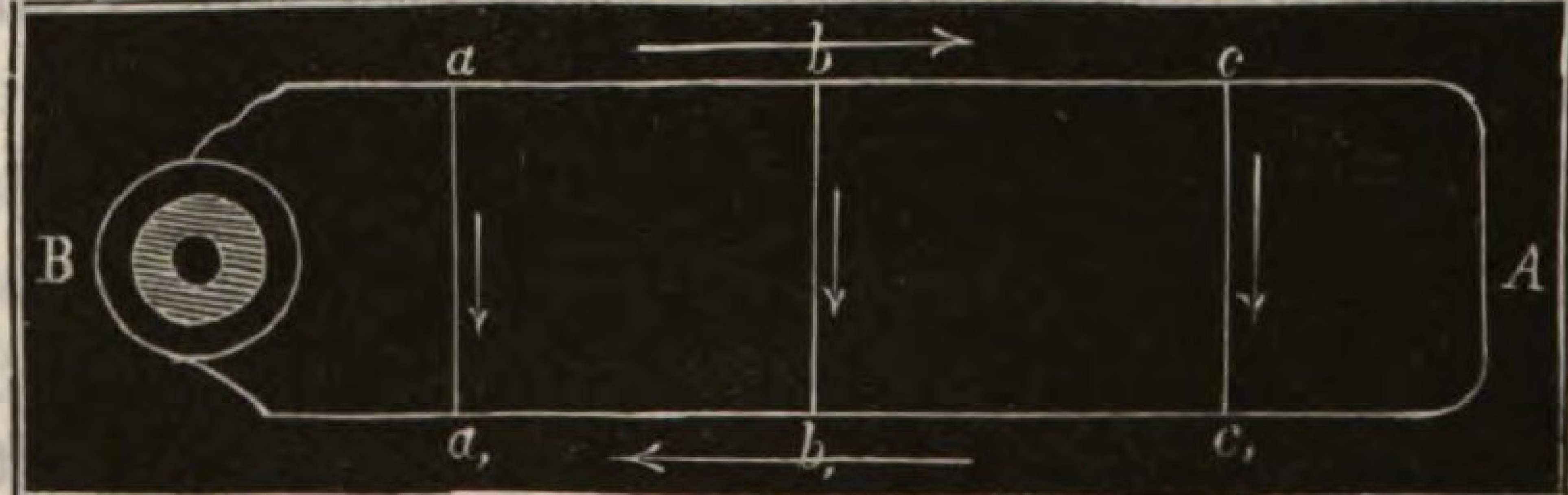
wurde, daß zuerst Gauß und nach ihm Steinheil die Inductionsströme zum Zeichengeben angewandt haben, freilich nur für kurze Strecken. Die Inductorrolle von Gauß bestand aus 7000 Fuß Kupferdraht, der Magnet von Steinheil aus 17 Hufeisen von 60 Pfd. Gewicht und etwa 300 Pfd. Tragkraft, die Drahtspiralen des Letztern hatten zusammen 1500 Umwindungen. Einen weit stärkeren magneto-elektrischen Apparat construirte Dujardin in Lille (Lond. Journ. of arts. Juli 1848. p. 402.); derselbe bestand aus drei hufeisenförmigen Magneten, jeder zu 7 Lamellen und 6 Drahtrollen mit 23 Kilogr. Kupferdraht, und lieferte einen Strom von hinreichender Stärke, um einen dem Morse'schen ähnlichen Telegraphen zu regieren. Am vollendetsten sind die magneto-elektrischen Maschinen, die gegenwärtig auf den sächsischen und baierischen Eisenbahn-Telegraphenlinien zum Betriebe der Stöhrer'schen Zeigerapparate angewandt werden. Schon 1846 versuchte Stöhrer mit einem kleinen, aus 5 Lamellen zusammengesetzten Magnet von nur 5 Zoll Länge den Cooke'schen Nadeltelegraphen in Bewegung zu setzen, und fand, daß der Strom der kleinen, aber kräftigen Maschine selbst bei aufliegendem Anker stark genug war, um auf 8 Meilen zu telegraphiren.

Seit dem September des Jahres 1847 sind nun die Stöhrer'schen Maschinen fortwährend im Gebrauch, und fortgesetzte Bemühungen nach dieser Richtung hin lassen erwarten, daß über lang oder kurz die eben so lästigen als kostspieligen hydrogalvanischen Batterien durch die magneto-elektrischen Maschinen aus den telegraphischen Bureaus werden verdrängt werden.

231 **Die Leitung.** Eine gute Leitung ist die erste Bedingung für die Brauchbarkeit einer telegraphischen Linie; die meisten Störungen, die gegenwärtig noch auf vielen, besonders den längern Linien in den telegraphischen Apparaten so häufig eintreten, fallen den Mängeln der Leitung zur Last, die hauptsächlich darin bestehen, daß die einzelnen Theile derselben nicht vollständig von einander isolirt sind und zu Nebenschließungen Veranlassung geben.

Bezeichnen z. B. *B* und *A* in der Fig. 213 zwei durch die Drähte *a b c*, *a' b' c'* verbundene Stationen, und wird in *B* eine Batterie in

Fig. 213.



diese Drahleitung eingeschaltet, um bei *A* telegraphische Zeichen hervorzubringen, so wird der Strom, wenn die Drahttheile *a*, *a'* — *b*, *b'* — *c*, *c'* mit einander in leitender Verbindung stehen, keineswegs in seiner ganzen Stärke *A* erreichen, seine Intensität nimmt vielmehr mit der Entfernung von *B* immer ab, und kann unter Umständen, wenn die Nebenschließungen *aa'*, *bb'* *cc'* gute Leiter sind, in *A* sogar Null sein. Aus diesem Grunde, da auch bei der sorgfältigsten Ausführung der Drahtleitung nicht alle Nebenschließungen zu vermeiden sind, vertheilt man die Batterie *B*, welche zum Betriebe der auf zwei benachbarten Stationen aufgestellten Apparate erforderlich ist, in zwei Hälften, und stellt diese auf jeder Station so auf, daß sie ihren Strom in gleicher Richtung durch die Leitung senden, und sich also gegenseitig unterstützen.

Eine möglichst vollständige Isolirung der Drahtleitung in allen ihren Theilen ist daher das erste Erforderniß bei der Anlage einer Telegraphenlinie. Die große Schwierigkeit, viele nahe neben einander laufende Drähte gehörig zu isoliren, machte schon allein die frühesten telegraphischen Versuche von Sömmering, Ampere, Vorßelmann de Heer, Cooke und Wheatstone u. dgl. für längere Strecken unausführbar. Morse, Cooke u. A. umwickelten die Drähte einzeln mit Baumwolle oder Kautschuck, firnißten diese Hülle und spannten sie in bleierne oder eiserne Röhren so auf, daß sie sich nicht berührten, worauf dann die Röhren mit Harz ausgegossen wurden. Jakobi schloß die Drähte in gläserne Röhren ein, die einzeln mit Kautschuck verbunden waren und 21 Zoll tief in die Erde gelegt wurden. Die Drähte selbst waren einzeln mit Zwirn, darauf mit einer aus Harz, Wachs und Talg bestehenden Mischung überzogen, dann nochmals übersponnen und abermals mit dieser Mischung überzogen. Dennoch zeigte sich hierbei eine starke Nebenschließung.

Luft- oder Stangenleitung. Seit Steinheil's Entdeckung der Erdleitung wird bei den meisten im Betrieb befindlichen Telegraphen nur ein einziger Draht als Leitung angewandt, und dieser 232

a) entweder auf Stangen durch die Luft ausgespannt, oder

b) gehörig isolirt unter der Erde weggeleitet.

Weber legte die erste aus zwei neben einander laufenden nicht überzogenen Drähten bestehende Leitung auf eine Strecke von 6000 Fuß durch die Luft; 4 Jahre später spannte Steinheil seine zwei Drahtzüge auf eine Strecke von 15250 Fuß hoch durch die Luft aus, indem er sie innerhalb der Stadt München in Abständen von 3 und 10 Fuß befestigte, über Strecken aber, wo keine hohen Gebäude vorhanden waren, durch 40 — 58 Fuß hohe Floßbäume unterstützte. An den Auflegepunkten war nur Filz untergelegt, die Isolation also höchst unvollkommen.

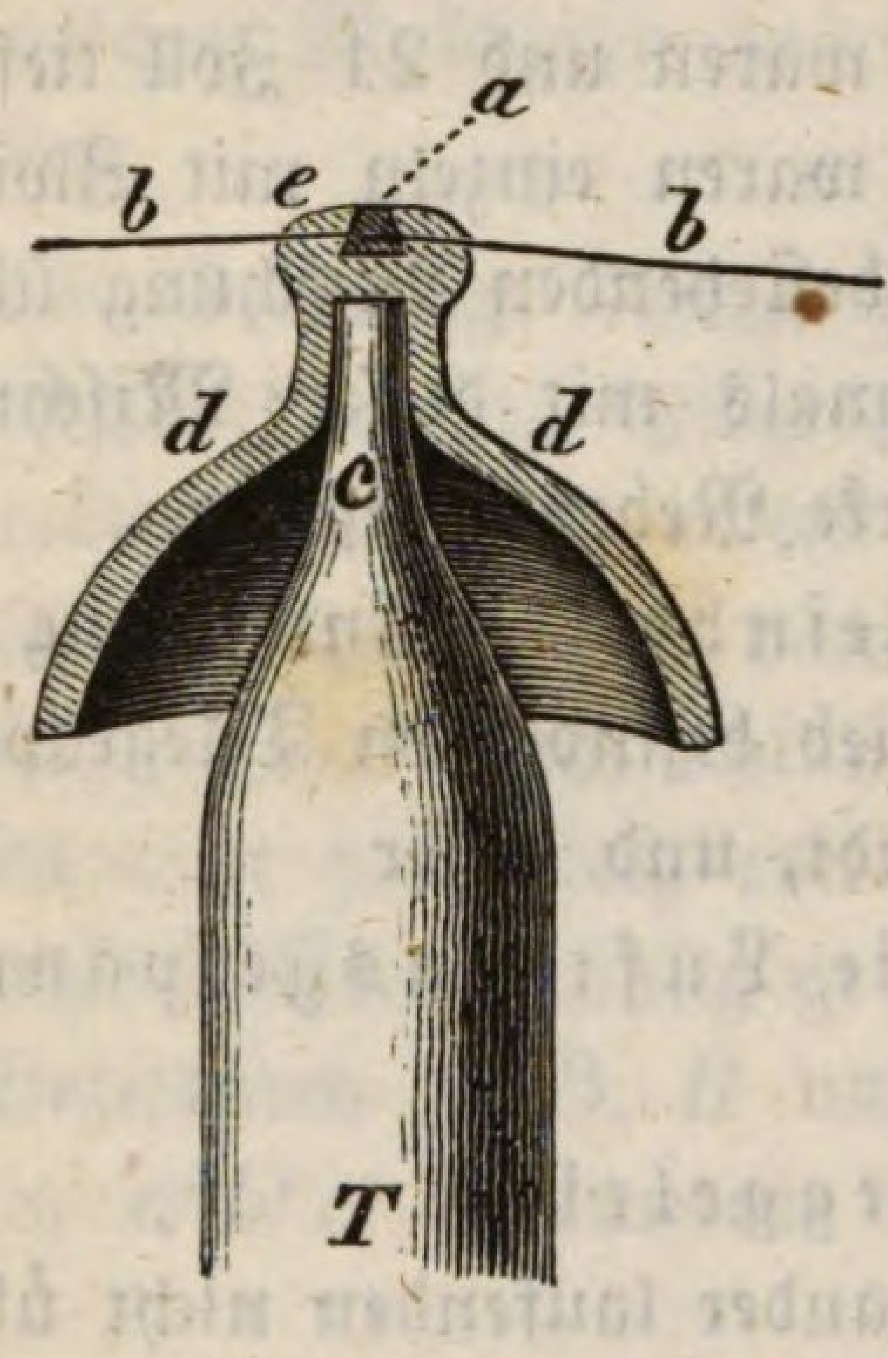
Gegenwärtig, wo die Erde einen Theil der Leitung ausmacht, werden in Entfernungen von 100 — 120 Fuß, 10 — 15 Fuß hohe, gegen 4 Zoll dicke Stangen von trockenem Fichten= oder Lerchenholz fest in die Erde eingegraben. Der Draht wird an der Stelle, wo er durch den oberen Theil der Stange hindurchgeht, mit einer isolirenden Platte von Gutta=Percha umwickelt, durch einen hölzernen Pflock festgekeilt und durch ein kleines Zinkdach gegen den Regen geschützt. Die Erfahrung hat jedoch nachgewiesen, daß auch diese Befestigungsweise nur mangelhaft isolirt und daß insbesondere bei anhaltend feuchter Witterung eine Ueberleitung des Stromes von den Stützpunkten an den Stangen herab zu dem Erdboden hin und umgekehrt stattfindet. Da gegen 240 solcher Stangen auf eine Meile kommen, so ist der Stromverlust, den eine so eingerichtete Leitung verursacht, von Station zu Station sehr bedeutend.

Breguet und Gounelle versahen jede Stange mit einer Rolle von Biskuit=Porcellan, auf der die Drähte ruhten und durch einen Schirmdach geschützt waren. Drähte und Stangen waren außerdem mit Marineleim überzogen.

Eine vorzüglich gute und jetzt durchgehends angewandte Isolir=Methode für Drahtleitungen auf Stangen ist folgende:

Die Tragstangen T (Figur 214) sind oben auf einem $1^1/_2$ Zoll starken, 6″ — 8″ langen Zapfen c abgespitzt und eine Porcellanglocke $d\,d$ aufgekittet. Oben im Porcellankopfe ist ein Einschnitt e, in welchen der Draht bb gelegt und mit etwas Blei in der Mitte der Erweiterung a festgegossen wird. Die innere Fläche der Glocke bildet hierbei eine stets trocken bleibende und daher isolirende Schichte zwischen der Stange T und dem Drahte $b\,b$. Auch bei dem ungünstigsten Wetter haben sich bei diesen Leitungen die Nebenschließungen an sehr empfindlichen Halske'schen Multiplicatoren häufig gleich Null ergeben.

Fig. 214.



Bei der im Winter 1849 von Siemens ausgeführten, 42 Meilen langen Leitung zwischen Eisenach und Frankfurt über Kassel wurden oben geschlossene Porcellantrichter auf eiserne Stangen so aufgekittet, daß die Glocke nach unten gerichtet war. Die eiserne Stange wurde an das obere Ende der hölzernen Pfosten geschraubt und der Draht an der äußeren Fläche des Trichters, durch Umwinden um den oberen dünnen Theil desselben, befestigt. Auch hier war die Isolation sehr vollständig.

Die Kosten einer solchen Leitung aus Kupfer kamen der preußischen Regierung pro Meile à 24,000 Fuß zu stehen:

An Draht 318½ Thlr., Stangen 110 Thlr., Eisenstützen für die Porcellanköpfe 45 Thlr., Porcellanköpfe 35 Thlr., Eingraben der Stangen 20 Thlr., zusammen **528½ Thlr.**

Die Kosten einer Stangenleitung aus *Eisendraht* stellen sich, nach *Kramer*, pro Meile à 24,000 Fuß auf 250 Rthlr.

Unterirdische oder Gutta-Percha-Leitung. — Die vielen Män- 233
gel, an denen eine gut isolirte Stangenleitung noch immer leidet und der Umstand, daß, je vollständiger die Isolation derselben ist, um so störender die Einflüsse der atmosphärischen Elektricität auftreten, veranlaßten die Techniker vielfach, die bei Seite gelegten Versuche mit *unterirdischen* Leitungen wieder aufzunehmen. Im Herbste 1847 vollendete W. *Siemens* (dessen Abhandl. über telegr. Leit. in *Poggendorff's* Annal., Bd. 79, S. 481) eine Versuchslinie von 1 Meile Länge, auf welcher der Kupferdraht in der gegenwärtig sehr bedeutenden Fabrik von *Fonrobert* und *Pruckner* in Berlin mit einer Hülle von gereinigter Gutta-Percha umpreßt war und 2 Fuß tief unter der Erde fortgeleitet wurde. Da es sich zeigte, daß die reine und wasserfreie Gutta-Percha in der feuchten Erde sich nach und nach an ihrer Oberfläche in ein Hydrat umwandelte, so wurde bei sämmtlich später angefertigten Drähten *vulcanisirte* (mit Schwefel vermischte) Gutta-Percha in Anwendung gebracht und zugleich die Umpressung mittelst einer durch *Siemens* und *Halske* angefertigten Maschine auf eine sehr vervollkommnete Weise (*Dingler's* Journ. Bd. 115, S. 260) bewerkstelligt.

Die fertigen Drähte werden zuerst durch die Arbeiter in Bezug auf Isolirung geprüft und unterliegen nach Ausbesserung der schadhaften Stellen einer nochmaligen strengen Prüfung durch sehr empfindliche Galvanometer. Ein Fehler in der Isolirung, welcher eine Nebenschließung bewirkt, die auf die Meile Draht ¼ Procent, also nur $^1/_{400}$ des ganzen Stromes beträgt, wird von der preußischen Regierung nicht mehr acceptirt. Gegenwärtig darf bei neu angelegten Leitungen der Nebenstrom bei am anderen Ende geöffneter, 10 Meilen langer Leitung nicht über 2½ Procent des bei geschlossener Kette vorhandenen Stromes betragen.

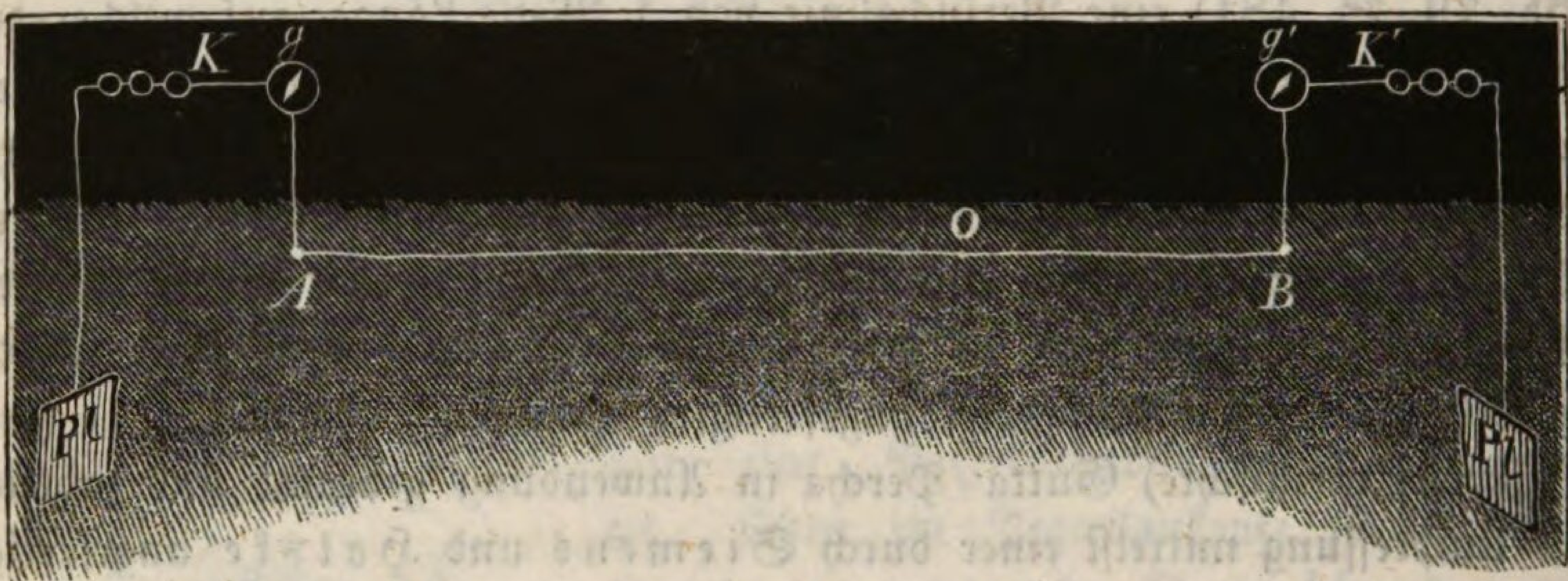
Das Einlegen des Drahtes geschieht auf eine einfache Weise der Art, daß man ihn in einen, am Rande des Eisenbahn-Plateaus hinlaufenden, zwei Fuß tiefen Graben lose hineinlegt, mit einer Lage Sand bedeckt und bevor noch der Graben zugeworfen wird, in Bezug auf Isolation einer Probe unterworfen wird. Die benachbarten Enden zweier Drahtadern werden blank geschabt, zusammengewunden, mit Zinn an einander gelöthet

und mit dünnen Platten der Gutta-Percha-Mischung über Kohlenfeuer fest überzogen.

Für das Auffinden eines einzelnen zwischen zwei Stationen auf irgend eine Weise entstandenen Fehlers in der Leitung hat Siemens in der oben angeführten Abhandlung zwei Rechnungsmethoden angegeben, nach denen sich die Fehlerstelle ziemlich genau ergeben muß. Sind mehrere schadhafte Stellen vorhanden, was sich ebenfalls durch diese Rechnung ergiebt, so erreicht man dieselben durch fortgesetztes Halbiren des Leitungsdrahtes und Prüfung der einzelnen Hälften in Bezug auf ihre Isolation. Hat man auf diese Weise den Fehler innerhalb der Gränze von einigen Ruthen eingeschlossen, so bleibt nichts übrig, als den Draht bloß zu legen, wobei sich der Fehler ergeben muß.

Es seien A und B Fig. 215 die Endpunkte der zu untersuchenden Drahtleitung, g und K ein Galvanometer, und eine Säule, welche zwischen

Fig. 215.



A und der entsprechenden Erdplatte Pl eingeschaltet ist; eben so g' und K' ein Galvanometer und eine Säule zwischen B und Pl eingeschaltet.

Die beschädigte Stelle sei bei O. Ist nun der Leitungswiderstand des Drahtes von A bis O gleich x, von O bis B gleich y; bezeichnet ferner m den reducirten Widerstand der Drahtleitung zwischen A und Pl sammt dem Widerstand des Galvanometers g, der Säule K und dem Widerstand der diese Platte umgebenden feuchten Schichten bis zur unendlichen Ausbreitung des Stromes, und endlich mit n die Summe der entsprechenden Widerstände an der anderen Seite der Drahtleitung, so ist die Stromstärke, welche in dem Leitungsdraht kreisen müßte, wenn bei O keine Beschädigung stattfindet und die Leitung nirgends unterbrochen ist,

$$s = \frac{2\,e}{x + y + m + n},$$

wenn e die elektromotorische Kraft einer Säule bezeichnet.

Unterbricht man die Leitung bei B, so wird man bei A gar keine Ab-

lenkung des Galvanometers beobachten, wenn zwischen A und B keine Beschädigung vorhanden ist; ist aber eine solche vorhanden, so zeigt sich eine Ablenkung, aus der sich die Stromstärke

$$s' = \frac{e}{m + x + z}$$

ergiebt, wenn z den Widerstand des Ueberganges von der bloßgelegten Stelle des Drahtes zur Erde oder den Widerstand der Nebenschließung bezeichnet.

Eben so ist

$$s'' = \frac{e}{n + y + z},$$

die durch das Galvanometer g' ermittelte Stromstärke, wenn die Leitung bei O unterbrochen ist.

Aus diesen drei Gleichungen e und z eliminirt, giebt

$$s \,.\, s'' (x + y + m + n) - 2\, s'\, s'' (m + x)$$
$$= s\, s' (x + y + m + n) - 2\, s'\, s'' (n + y),$$

woraus

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{2\,s'\,s'' - s\,s' + s\,s''}{2\,s'\,s'' - s\,s'' + s\,s'}.$$

Da die Summe $x + y$ gleich der Länge der Leitung, mithin bekannt ist, so ergiebt sich aus dieser Gleichung sofort die Lage der Beschädigung.

Genauere Resultate giebt ein anderer Weg der Berechnung der Lage einer Beschädigung, bei welchem die Polarisation weit weniger störend auftritt und welche unabhängig ist von der elektromotorischen Kraft der Säule.

Es sei die Bedeutung der Buchstaben x, y, m, n und z die oben angegebene. Die Säule K' sei durch einen Draht von gleichem Widerstande ersetzt, so werden die beiden Galvanometer nicht gleiche Stromstärke anzeigen, wenn sich bei O eine Verletzung befindet, weil durch g' nur ein Theil des durch g gehenden Stromes hindurch geht. Es sei nun s die bei A, s' die bei B gemessene Stromstärke, so ist

$$s' = \frac{z}{y + n + z} \,.\, s,$$

woraus

$$\frac{s}{s'} = \frac{y + n + z}{z}$$

oder

$$\frac{s - s'}{s'} = \frac{y + n}{z} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Ist nun die Säule bei K' angebracht und K durch einen Draht von

gleichem Widerstande ersetzt, so werden sich bei B und A die Stromstärken σ und σ' ergeben und man hat dem oberen entsprechend

$$\frac{\sigma - \sigma'}{\sigma'} = \frac{x + m}{z} \quad . \; . \; . \; . \quad 2)$$

die Gleichung 2) durch die Gleichung 1) dividirt, giebt

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{(\sigma - \sigma')\, s'}{(s - s')\, \sigma'},$$

wodurch die Lage der Beschädigung bestimmt ist.

Hinsichtlich der mit m und n bezeichneten Constanten ist noch zu erwähnen, daß dieselben bei der hier in Betracht kommenden annähernden Bestimmung der Lage der Beschädigung einer ausgedehnten telegraphischen Leitung ohne große Beeinträchtigung der Genauigkeit ganz vernachlässigt werden können, wenn man große im freien Wasser liegende Platten, Säulen und Galvanometer von geringem Widerstande anwendet. Bei Erdplatten, welche im feuchten Erdboden liegen, ist der Widerstand des Ueberganges der Elektricität von den Platten zum unbegränzten feuchten Leiter, als welche die Erde auftritt, natürlich unverhältnißmäßig viel größer, doch kann man alsdann, wenn man an beiden Enden gleiche und unter gleichen Verhältnissen befindliche Platten hat, für jede ohne Nachtheil den halben gemessenen Erdwiderstand annehmen.

Die Kosten der Gutta-Percha-Umpressung sind gegenwärtig noch bedeutend und machen zur Zeit die unterirdische Leitung weit kostspieliger, als eine gleich lange Stangenleitung sein würde. Die Kupferdrähte kosten 48½ Rthlr. pro Centner, 100 Fuß preuß. dürfen nicht weniger als 65 Loth wiegen. Hiernach wiegt der Draht für 1 Meile preuß. gegen 4½ Centner. Die Gutta-Percha-Hülle wiegt eben so viel als der Draht, das Eingraben der Drähte kostet durchschnittlich 200 Thlr. pro Meile, so daß die Meile der unterirdischen Leitung zu stehen kommt: an Draht 4½ Centner à 49 Rthlr. = 220 Thlr., an Gutta-Percha-Ueberzug 720 Rthlr., an Arbeitslohn 200 Rthlr., zusammen **1140 Thlr.**

234 **Die Erdleitung.** Der Antheil, den die bei telegraphischen Linien einen Theil der Leitung ausmachende Erdschichte an der gesammten Leitung und dem dadurch entstehenden Widerstande hat, ist bis jetzt noch nicht genügend ermittelt worden. Die Versuche, welche Breguet (Compt. rend. XXI. 760) auf der aus zwei Kupferdrähten, einem Eisendrahte und Erdplatten bestehenden Linie zwischen Paris und Rouen angestellt hat und die so angeordnet waren, daß der Strom derselben Batterie bald die beiden Kupferdrähte, bald den einen Kupferdraht und die Erde, bald auch den Eisendraht und die Erde durchlaufen mußte, ergaben das Resultat,

daß der Widerstand der Erde so gering sei, daß er gegen den des Leitungsdrahtes fast ganz vernachlässigt werden könne und daß demzufolge die Intensität eines aus derselben Batterie erzeugten Stromes beinahe doppelt so groß sei, wenn er zur Hälfte durch den Draht, zur Hälfte durch die Erde geleitet wird, als wenn er zwei Drähte durchlaufen muß. Es war u. a. die Intensität des Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde zu Paris 56,8, geleitet durch zwei Kupferdrähte nur 29,1; zu Rouen betrug die Intensität desselben Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde 35,1, geleitet durch zwei Kupferdrähte 17,8. Ein ähnliches Ergebniß stellte sich bei den übrigen 27 Versuchen heraus.

Mateucci (Compt. rend. XIX. 845) stellte bei Anwesenheit der italienischen Naturforscher in Mailand Versuche über denselben Gegenstand an; er leitete nach einander den Strom aus derselben Batterie durch 12,500 Meter Draht in der Luft, dann durch 12,500 Meter Draht in der Luft und 12,500 Meter Erde, endlich durch 25,000 Meter Draht in der Luft und fand das Intensitäts-Verhältniß 30 : 27 : 17. Hiernach ist die Intensität eines durch die Erde geleiteten Stromes zwar bedeutend stärker, als wenn die ganze Leitung aus Draht besteht, allein sie ist keineswegs das Doppelte und der Leitungswiderstand der Erde ist gegen den im Drahte nicht als verschwindend anzusehen.

Es ist nur zu bedauern, daß weder die Versuche von Breguet noch von Mateucci mit derjenigen Sorgfalt und Umsicht angestellt worden sind, welche eine solche Untersuchung erfordert; die Richtigkeit der vorstehenden Resultate ist auch mehrfach angefochten worden und sie berechtigen nur zu dem summarischen Schlusse, daß die Intensität des Stromes bei Anwendung der Erdleitung viel größer ist, als bei einer doppelten Drahtleitung, oder daß der Widerstand des feuchten Erdreichs von unbekanntem Querschnitte viel kleiner ist, als der eines gleich langen Kupferdrahtes von der bei den Telegraphenlinien üblichen Dicke.

Baumgartner (Pogg. Bd. 80, S. 374 und S. 381) hat es versucht, durch die Benutzung der zwischen Wien und Gänserndorf (14,800 Klft.) vorhandenen doppelten Drahtleitung die Größe des Leitungswiderstandes der Erde numerisch zu bestimmen. Er schaltete in die Drahtleitung, welche mit dem einen Ende in Wien, mit dem anderen in Gänserndorf in die Erde versenkt ist, ein kleines Zink-Platin-Element und eine sehr empfindliche Sinusboussole ein und beobachtete unter den bekannten Vorsichtsmaßregeln die Größe des Ablenkungswinkels. Hierauf ließ er sowohl in Wien, als in Gänserndorf die Verbindung des Drahtes mit den Erdplatten aufheben und seine Enden mit dem zweiten Drahte verbinden, und beobachtete auch in diesem Falle, wo der Strom durch zwei Drähte

geleitet wurde, den Ablenkungswinkel. Bei drei hinter einander angestellten Versuchen ergaben sich folgende Ablenkungen:

	1. Versuch.	2. Versuch.	3. Versuch.	Durchschnitt.
1) Als der Strom im Drahte hin- und herging	20°	22°	19½°	20° 30′
2) Als der Strom im Drahte hin- und durch die Erde zurück ging.	33°	32½°	31°	32° 10′

Aus dieser Beobachtung ergiebt sich durch eine leichte Rechnung, daß der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von der Länge = 1 und 1‴ Dicke, **3,14mal** größer ist, als der eines gleich langen vom Strome durchflossenen Theiles des Erdkörpers von unbekanntem Querschnitt. Aber auch dieses Resultat hat keinen Anspruch auf Genauigkeit, und in späteren Versuchen, die derselbe Gelehrte auf den weit größeren Strecken zwischen Wien und Gloggnitz (fast 11 Meilen), so wie zwischen Wien und Gratz (28 Meil.) in der eben beschriebenen Weise angestellt hat, ergeben sich für dieselben Werthe die Zahlen:

a) auf der Wien-Gloggnitzer Strecke 6,98,

b) auf der Wien-Gratzer Strecke 4,70.

Hiernach scheint der Leitungswiderstand des Erdreichs, der im Verhältnisse zu dem des Kupferdrahtes keineswegs verschwindend klein ist, nicht von der Entfernung der Stationen allein, sondern auch von der geognostischen Beschaffenheit der zwischen den Erdplatten befindlichen Erdschichten abhängig zu sein. Uebrigens ist bei allen vorgenannten Versuchen der Antheil, den die an den Erdplatten auftretende galvanische Polarisation an der Schwächung des Stromes hat, ganz unberücksichtigt geblieben.

Die auffallende Erscheinung der Erdleitung und besonders die Resultate der französischen Physiker, daß der Widerstand der Erde für große Strecken beinahe gleich Null sei, haben zu noch auffallenderen Ansichten über die Rolle, welche die Erde bei diesen Vorgängen spiele, Raum gegeben.

Arago (Compt. rend. XX. 1604) überreichte der Akademie ein Schreiben von de Tessan, Guillemin und de Girard, worin diese die Ansicht aufstellen, daß die Erde nicht als Leiter, sondern als großes Reservoir auftrete, welches die an den Erdplatten frei werdenden Elektricitäten in sich aufnehme und bewirke, daß sich dieselben in ihrem weiten

Schooße verloren. Am meisten hat Abbe Moigno (tr. de tel. el. 1849 p. 211) diese Ansicht zu begründen gesucht, wobei er sich auf die Autorität von Gauß stützt, welcher ebenfalls annahm, daß, wenn die Enden eines einzigen Drahtes, anstatt sich in der Erde auszubreiten, an zwei ganz isolirte Himmelskörper, die ein ähnliches elektrisches Verhalten zeigten wie unsere Erde, befestigt würden, ein Strom diesen Draht durchlaufen würde, und zwar mit einer doppelt so großen Intensität, als wenn er sich durch zwei zwischen ihnen ausgespannten Drähten bewegte.

Mateucci suchte der Sache auf den Grund zu kommen und brachte fast in gerader Linie 4 Brunnen an, von denen die beiden äußeren 160 Meter von einander entfernt und durch einen Kupferdraht mit eingeschalteter Batterie verbunden waren; die Entfernung der beiden inneren Brunnen von einander betrug 30 Meter, und von den äußeren Brunnen 80 und 50 Meter. Die Enden eines empfindlichen Galvanometers tauchten in die beiden mittleren Brunnen. Sobald die Batterie geschlossen wurde, zeigte sich sofort eine Ablenkung der Nadel im Galvanometer um 35° bis 40°. Wurde die Richtung des Stromes umgekehrt, so wurde auch die Nadel im entgegengesetzten Sinne abgelenkt.

Ein ähnliches Experiment war schon früher von Steinheil (dessen Vorlesung über Telegr., München 1838) mit gleichem Erfolge angestellt worden.

Diese Versuche, wenn sie auch nicht die vorliegende Frage erschöpfend erledigen und weit besser und mannichfaltiger hätten angestellt sein können, zeigen doch unzweideutig, daß wenigstens für den Fall, wo die Entfernung der Erdplatten nicht sehr bedeutend ist, die Erde als Leiter, nicht als Reservoir, auftritt. Was hindert uns nun, diese Annahme auch auf den Fall der größeren Entfernung auszudehnen? —

Störungen durch die atmosphärische Elektricität. — Telegraphische Blitzableiter. 235 Einer der schlimmsten Feinde der elektrischen Telegraphen, wenigstens bei gut isolirten oberirdischen Leitungen, ist die atmosphärische Elektricität. Eine längere oberirdische Leitung wird fast in jedem Sommer einmal vom Blitz getroffen, der dann die Tragpfosten, zuweilen auch einen Theil des Drahtes und die Instrumente zerstört oder beschädigt.

Henry (Dingl. Journ. Bd. 104, S. 265) hat die wichtigsten Erscheinungen dieser Art auf vier Hauptquellen zrückgeführt:

Erstens kann der Draht, der nach Steinheil's Ausdrucksweise einen Blitzableiter von colossalen Dimensionen bildet, aus denselben Ursachen von einem Blitzschlage getroffen werden, aus denen hoch und vereinzelt liegende metallische Körper dem Blitze so sehr ausgesetzt sind.

Zweitens kann auch ohne Vorhandensein einer Gewitterwolke durch die Verschiedenheit des elektrischen Zustandes der Atmosphäre an zwei verschiedenen, weit von einander entfernten Stellen der telegraphischen Linie ein dauernder galvanischer Strom in dem Drahte entstehen.

Sowohl Henry, als auch Baumgartner (Pogg. Ann. 1849. Nro. 1. S. 135) und Siemens (Pogg. Ann. Bd. 79, S. 484) haben vielfach beobachtet, daß ein in die Leitung ohne Batterie eingeschaltetes Galvanometer fast zu jeder Zeit ziemlich heftige Ströme von veränderlicher Stärke und Richtung anzeigt, die z. B. auf der Linie von Eisenach nach Kassel im Sommer, während der Mittagszeit so heftig und veränderlich werden, daß der Dienst auf mehrere Stunden unterbrochen wird. Sind die beiden Enden des Drahtes isolirt, so zeigt er immer eine beträchtliche Ladung freier Elektricität, die um so stärker werden kann, wenn an dem einen Ende Regen oder Schnee fällt, während am anderen Ende die Luft heiter bleibt. In gebirgigen Gegenden ist diese Art Luftelektricität ganz besonders eine starke Quelle von Störungen für den Telegraphen.

Drittens kann die natürliche Elektricität des Drahtes durch die Induction einer entfernten Wolke gestört werden. Auf längeren Linien hört in den Sommermonaten in der Regel der übereinstimmende Gang der correspondirenden Apparate schon auf, wenn sich Gewitterwolken am Himmel zeigen, und Baumgartner bemerkt, daß der Indicator-Zeiger (am Nadelapparate) bleibend abgelenkt wird, wenn selbst in bedeutender Entfernung Gewitterwolken an der Telegraphenlinie vorbeizogen.

Viertens werden kräftige Ströme in dem Leitungsdrahte durch die Einwirkung dynamischer Induction von jedem Blitzstrahle erzeugt, der im Umkreise von vielen Meilen der Linie stattfindet. Es ist dieses Phänomen dasselbe, was man sonst auch wohl mit dem Namen des Rückschlages bezeichnet; es äußert sich meistens sehr lebhaft, ja in den österreichischen Nadelapparaten zuweilen bis zur Umkehrung der Nadelpolarität. Oft, wenn das Gewitter schon mehrere Meilen weit von der Drahtleitung entfernt ist, zeigt sich in den Galvanometern oder auch an den Elektromagneten der Zeichengeber bei jedem Blitzschlage ein sehr heftiger Strom.

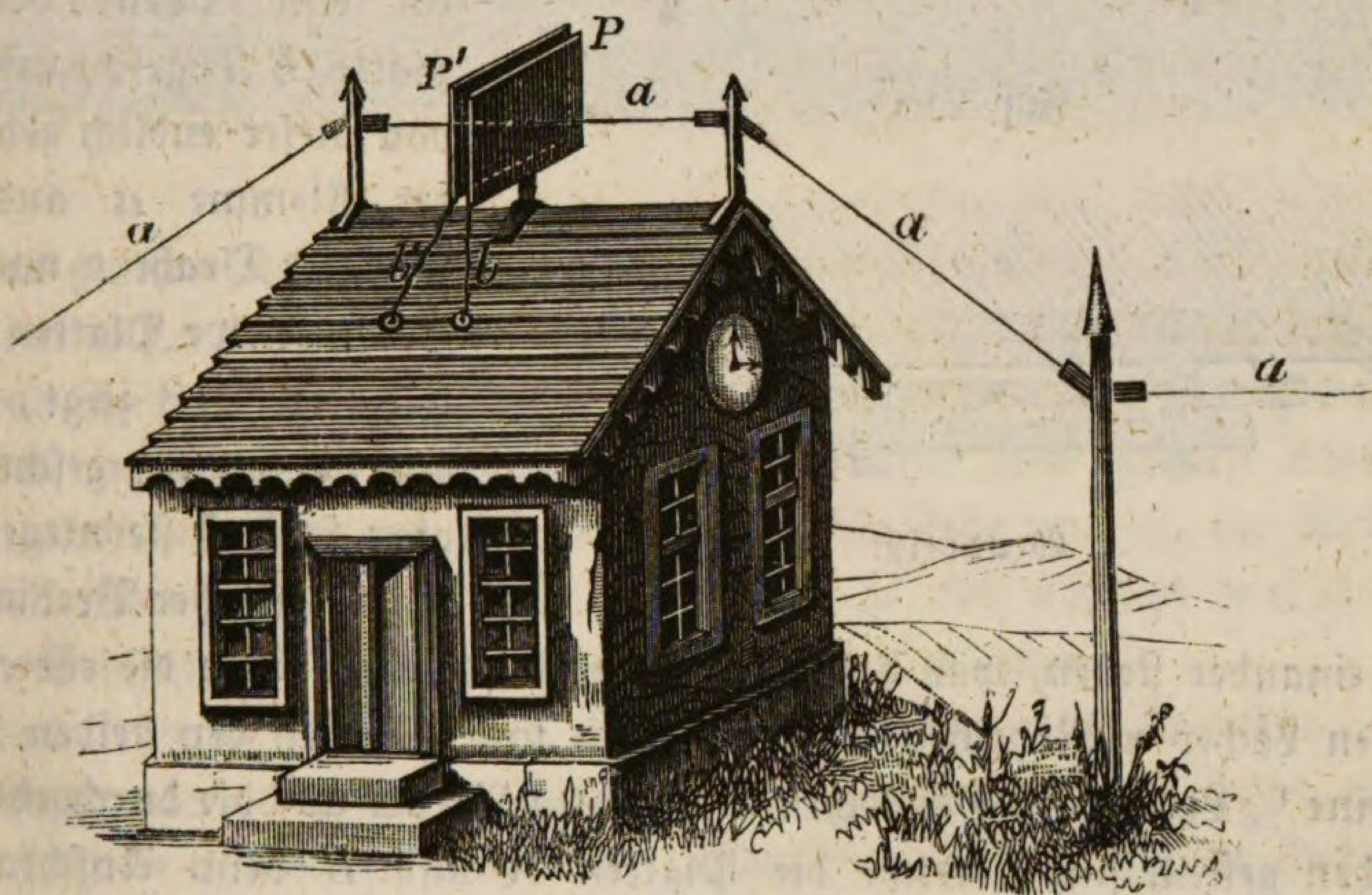
Alle diese Erscheinungen, mit alleiniger Ausnahme der durch Induction hervorgebrachten, treten bei den Stangenleitungen bei weitem häufiger und stärker auf, als bei den unterirdischen; daher auch die Anwendung der letzteren Art von Leitungen das beste Mittel ist zu ihrer Beseitigung. Gegen die Einflüsse der inducirten Elektricität schützt auch die unterirdische Leitung nicht, wie die Erfahrung auf dieser Art von Linien jeden Sommer reichlich lehrt.

Steinheil scheint zuerst den Gedanken, die Zeichengeber der Luftelektricität zu entziehen, zur Ausführung gebracht zu haben. Er beob-

achtete, daß der in den Drahtrollen überspringende Funke lieber die kleine Schlagweite von Windung zu Windung wählt, als den Umweg durch den Draht zu machen, während im Gegentheil der Strom eher eine continuirliche Kette von vielen hundert Meilen durchläuft, als daß er auf ganz kurzem Wege den Kreislauf mittelst Ueberspringens über eine in der Leitung befindliche, noch so kleine Unterbrechung vollende.

Hiernach richtete Steinheil im Jahre 1846 auf der München-Nanhofener Linie seine Blitzableiter so ein, daß der Leitungsdraht *aa* (Fig. 216) über dem Stationshause durchschnitten und seine Enden an zwei bloß durch

Fig. 216.



ein feines Seidenzeug getrennte Kupferplatten *P, P'* angelöthet wurde. Zwei feine Drähte *b, b'* führten von diesen Platten zu dem Telegraphen-Apparate. Die atmosphärische Elektricität nahm in diesem Falle den kürzesten Weg von *P* zu *P'* durch Ueberspringen und würde im ungünstigsten Falle die feinen Drähte *b, b'* abgeschmolzen haben, bevor sie zu dem Zeichengeber gelangte, während der galvanische Strom nur auf dem Wege *a a P b — b' P' a* oder umgekehrt circuliren konnte, und daher allemal die Zeichengeber berühren mußte. — Seit der Einführung dieser Ableiter wurde auf der genannten Linie selbst bei den heftigsten Gewittern in den Drahtrollen kein Knistern noch Funkensprühen mehr bemerkt.

Breguet (Compt. rend. Bd. 24, S. 21) und Fardely (Dingl. Jour. Bd. 109, S. 113) haben ähnliche Vorrichtungen zur Ausführung gebracht; am vollendetsten jedoch sind die vom Professor Meißner in Braunschweig auf der dortigen Telegraphenlinie ausgeführten Schutz-

platten, die in Fig. 217 und 218 abgebildet sind. Der Leitungsdraht *L* wird im Stationsgebäude auf eine 18″ lange, 14″ breite, $^2/_8$″ dicke Kupferplatte *A* geleitet und festgeschraubt. Von *A* führt ein isolirter dünner Draht *l* nach dem Telegraphen, von welchem ein anderer feiner Draht durch die Batterie führt und bei *E* an eine zweite Kupferplatte *BB* geschraubt ist, von dieser endlich geht von der Klemme *a* aus ein stärkerer Draht *e* nach der Erde. Beide Platten sind, wie Fig. 218 zeigt, zwar auf einander geschraubt, aber so, daß sie nirgendwo in metallischer Verbindung unter einander stehen, was dadurch erreicht wird, daß durch die corresponirenden Löcher *n* Röhrchen aus Elfenbein und zwischen den beiden Platten kleine $1/_8$ Linie dicke Scheibchen aus Gutta-Percha auf die durchgehenden Röhrchen gestellt sind, welche die Platten *A* und *B* beim Anschrauben auseinander halten. Das Brett, auf welchem die Platten sich befinden, wird an der Wand befestigt.

Fig. 217.

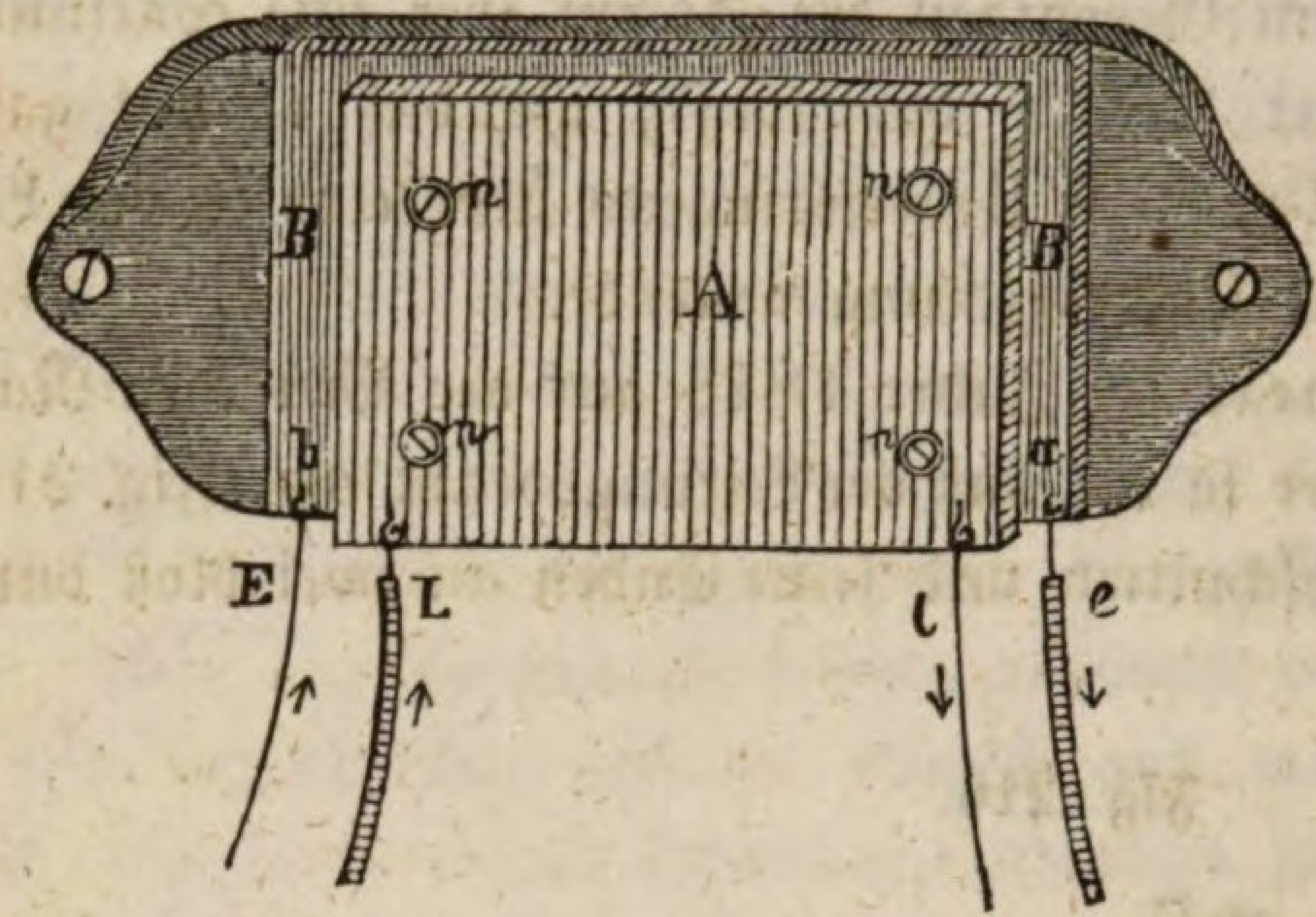
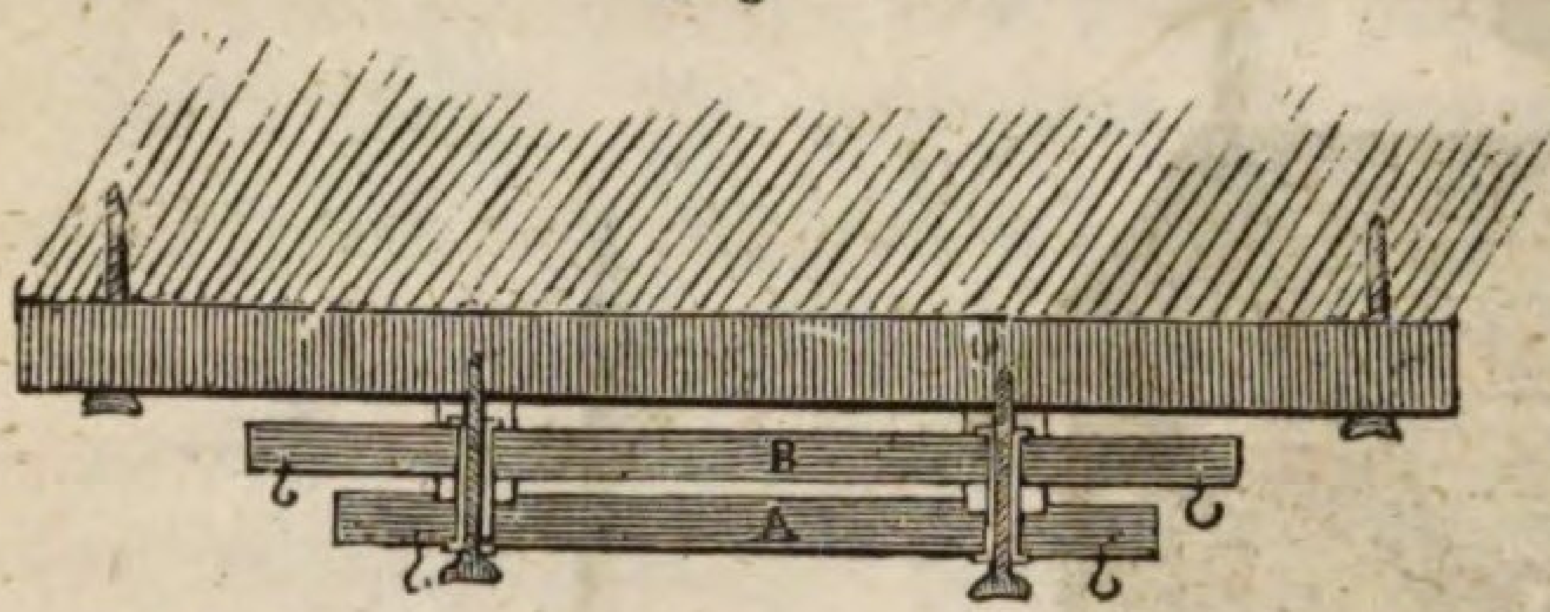


Fig 218.



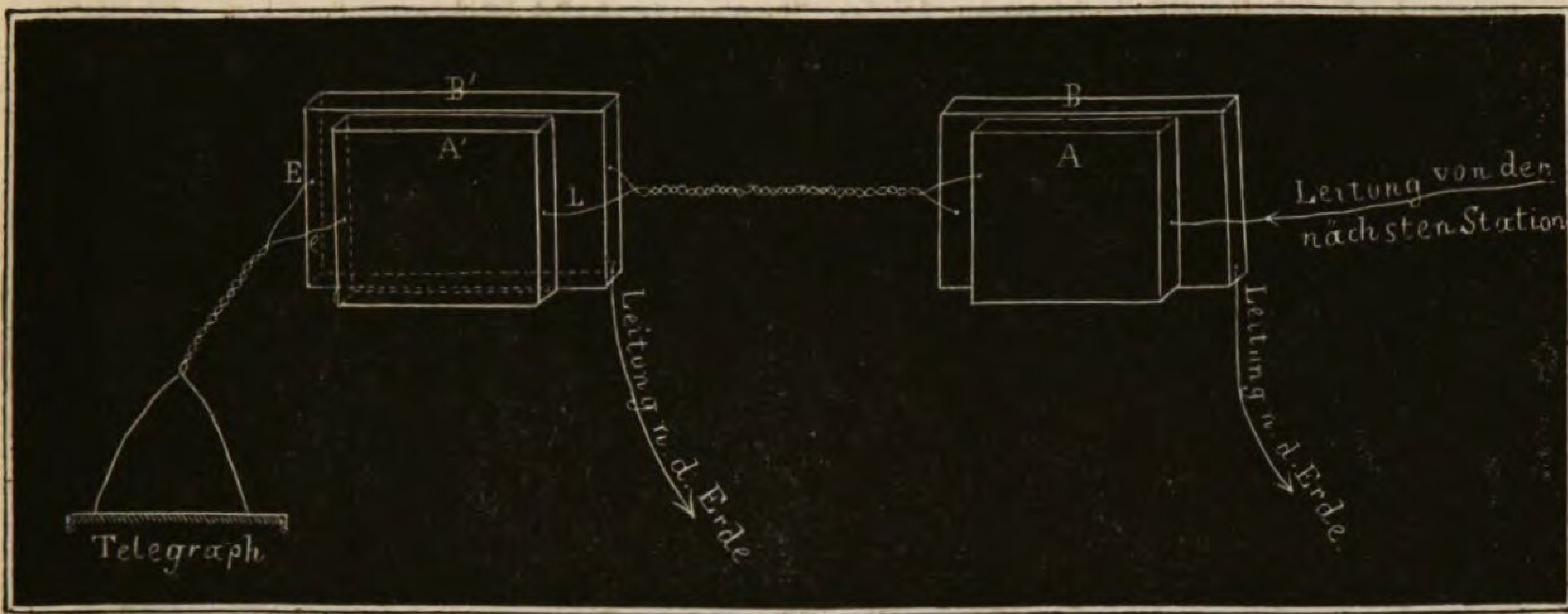
Grundriß.

Das galvanische Fluidum, durch *L* von der entfernten Station kommend, gelangt hierbei zunächst auf *A*, von da durch *l* zu dem Telegraphen und der Batterie, von da durch *E* auf *B* und endlich von hier durch *e* in die Erdplatte und durch die Erde zur andern Station zurück. Sobald sich aber in dem Leitungsdraht eine gewisse Menge atmosphärischer Elektricität ansammelt, strömt diese ebenfalls zunächst auf die Platte *A* und wählt durch Ueberspringen auf *B* den nächsten Weg zur Erde, anstatt den größern Weg durch die Umwickelungsdrähte der Elektromagnete zu nehmen.

Vielfache Beobachtungen haben ergeben, daß durch Anwendung solcher Blitzableiter die telegraphische Correspondenz, selbst bei heftigen Gewittern, unterhalten werden kann; während ununterbrochen die Funken von der Platte *A* nach *B* übersprühen, kann die Correspondenz mit den Zeigerapparaten ungestört vor sich gehen. Zu noch größerer Sicherheit werden zwei

solcher Schutzplatten-Vorrichtungen in die Leitung eingeschaltet in der Art, wie Fig. 219 zeigt

Fig. 219.



Das galvanische Fluidum nimmt dann die Richtung von der entfernten Station zu *A*, durch einen feinen Draht zu *A'*, durch den Telegraph zu *B'*, von hier theils schon direct, theils noch weiter über *B* in die Erde u. s. w., während die atmosphärische Elektricität zum größten Theile sich schon durch Ueberspringen von *A* auf *B* in die Erde verliert, der Rest aber nach *A'* gelangend von hier auf *B'* überspringt und sich von dort ebenfalls in die Erde ergießt, ohne den Telegraphen zu berühren.

Man begnügt sich indessen keineswegs damit, die Apparate in den Stationsgebäuden gegen die Wirkung der Luftelektricität zu sichern, sondern man stellt in geeigneten Abständen, besonders in der Nähe der Endpunkte der Leitung, Metallstücke, die durch das Schirmdach oder unter der Höhlung des Porzellantrichters gegen Nässe geschützt sind, einander sehr nahe gegenüber. Das eine dieser Stücke wird mit dem Erdboden, das andere mit dem Drahte leitend verbunden; die atmosphärische Elektricität des Drahtes wird dadurch von dem einen Metallstück auf das andere überspringen und der größte Theil derselben verliert sich auf diese Weise in die Erde, ehe sie die Endpunkte der Leitung erreicht.

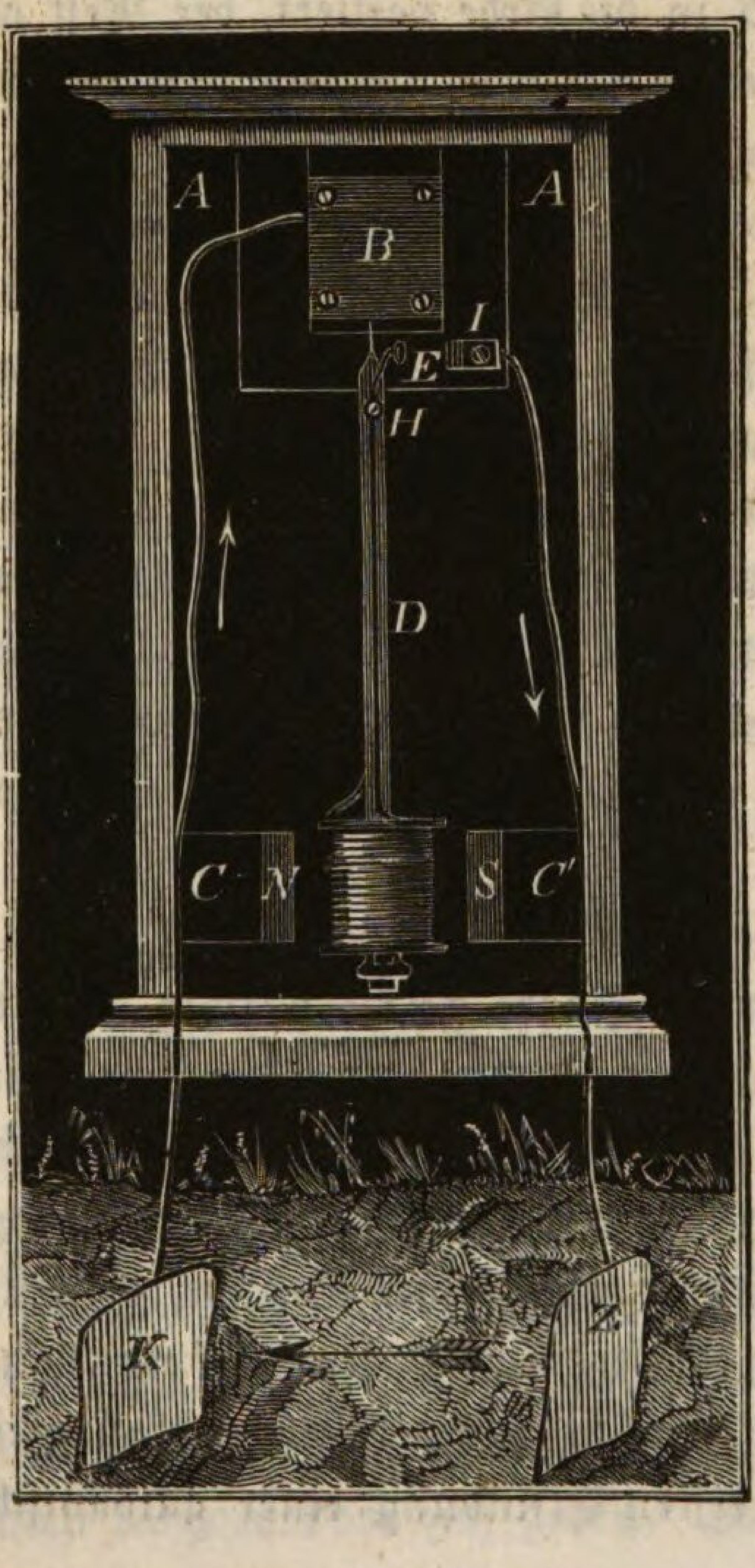
Die galvanischen Uhren. Schon im Jahre 1839 brachte Stein- 236
heil an den im Königl. Institut für junge Damen zu München befindlichen Uhren die Vorrichtung an, daß die Uebereinstimmung sämmtlicher, durch einen Leitungsdraht mit der Normaluhr verbundener Uhren in regelmäßigen Zwischenräumen, z. B. am Ende einer jeden Stunde, hergestellt wurde. Ein Jahr später nahm Wheatstone ein Patent auf eine seinem Zeigertelegraphen ganz nachgebildete galvanische Uhr, während fast gleichzeitig Bain auftrat, um die Ehre der ersten Erfindung einer galvanischen

Uhr für sich in Anspruch zu nehmen. Seitdem haben sich insbesondere Wadham, Pernell, Weare, Fardely, Gläsener, Breguet, Garnier, endlich in der allerneuesten Zeit Stöhrer mit der Verbesserung und Vervollkommnung dieser Apparate beschäftigt.

Man kann sämmtliche galvanische Uhren in zwei Klassen theilen: entweder wird die galvanische oder die elektro-magnetische Kraft dazu verwandt, in einer gewöhnlichen Uhr das Gewichtwerk zu ersetzen, also ein Pendel oder eine Unruhe, ohne irgend eine Feder- oder Gewichtkraft in lange anhaltende Bewegung zu versetzen, oder die Uhren sind bloß Zeittelegraphen, in denen eine durch Gewicht- oder Federkraft im Gange erhaltene Normaluhr ihre Zeit auf entfernt stehende und durch einen Leitungsdraht mit ihr verbundene secundäre Apparate überträgt.

Als Repräsentant der erstern Art von Uhren, die keine wesentlichen Vorzüge vor den gewöhnlichen Gewicht- oder Federuhren darbieten, wählen wir das Pendel von Bain. In Fig. 220 bezeichnet *B* eine auf der Holzplatte *A* befestigte Kupferplatte, an welcher das Pendel *D* aufgehängt ist. Von dem untern Ende der Aufhängefeder läuft ein gut isolirter feiner Kupferdraht an der Pendelstange herab, windet sich auf einer Holzspuhle zu einer Spirale, welche die Stelle der Linse vertritt, und endigt an dem obern Theile der Pendelstange an der Feder *H*, mit welcher er in metallischer Berührung steht. Diese Feder trägt ein Platinknöpfchen *E*, welches dem Kupferplättchen *I* gegenübersteht und mit ihm in Berührung tritt, wenn die Spirale gegen *S* angelehnt wird.

Fig. 220.

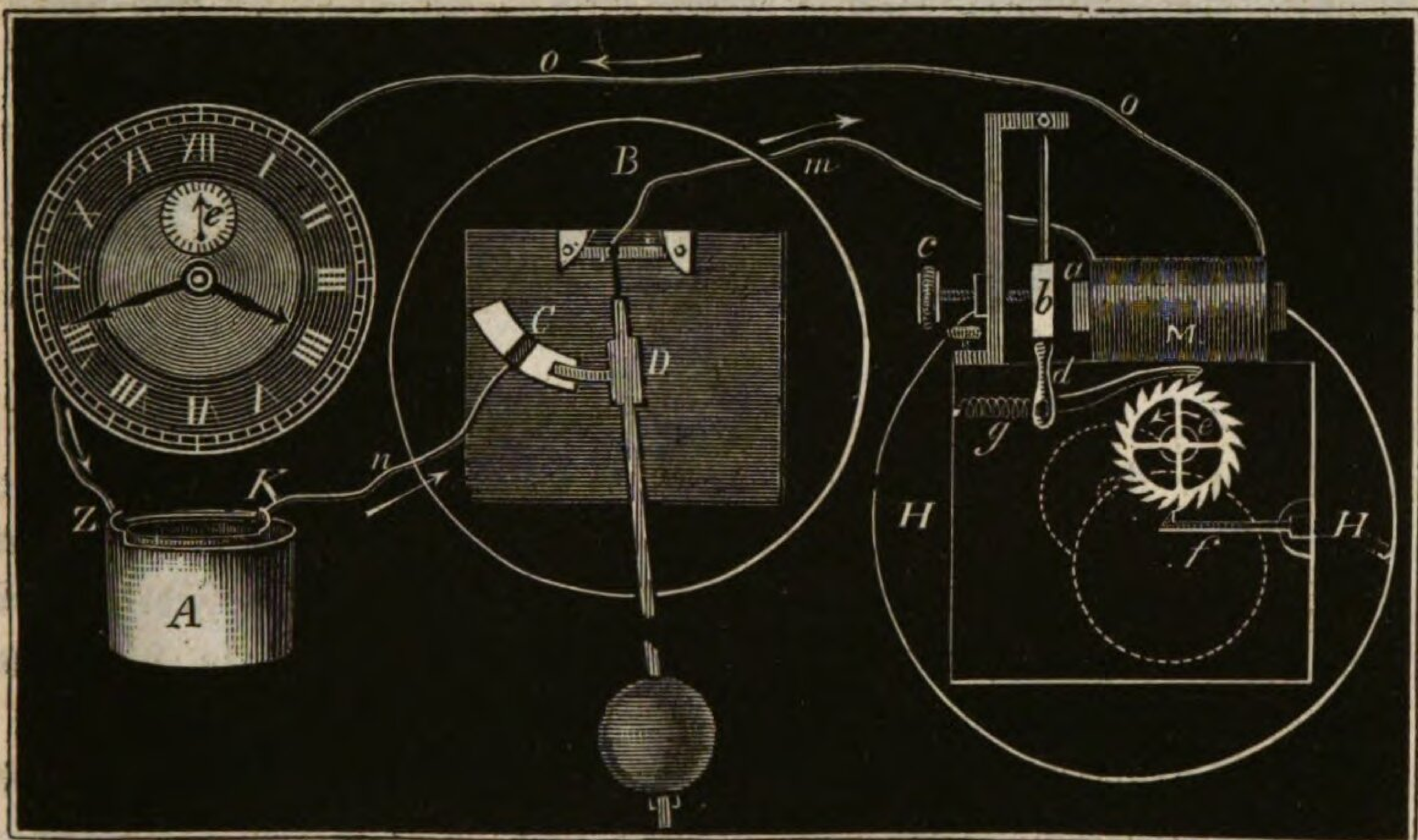


C, *C'* sind zwei Stahlmagnete, *N* ein Nord-, *S* ein Südpol. Bain setzte das Pendel durch eine Erdbatterie in Bewegung; er grub eine Kupferplatte *K* und eine Zinkplatte *Z* in den feuchten Erdboden ein und erhielt einen Strom, stark genug, um die Uhr im Gange zu erhalten. Der Strom verfolgt nämlich, sobald man zuerst die Spirale gegen *S* annähert und dadurch *E* mit *I* in Berührung bringt, die Richtung der Pfeile von *K* zu *B* und durch die

Aufhängefeder zu der Spirale, dann über *H*, *E* und *I* zu *Z*. Die Art der Windungen um die Spuhle ist nun von der Art, daß die Spirale von *S* abgestoßen, von *N* aber angezogen wird. Das Pendel schwingt also nach der Linken, wodurch der Strom wegen der Trennung der Contactstücke *E* und *I* unterbrochen ist. Beim Zurückschwingen nach der Rechten kommt aber *E* wieder mit *I* in Berührung und das Pendel erhält dadurch einen neuen Impuls nach der Rechten. So dauert die Bewegung, die nun durch Räder auf die Zeiger übertragen wird, ununterbrochen fort, so lange das Element *K Z* in seiner Kraft aushält.

Als Repräsentant der zweiten Klasse von elektrischen Uhren möge wieder das System von Bain dienen, welches in Fig. 221 abgebildet ist.

Fig. 221.

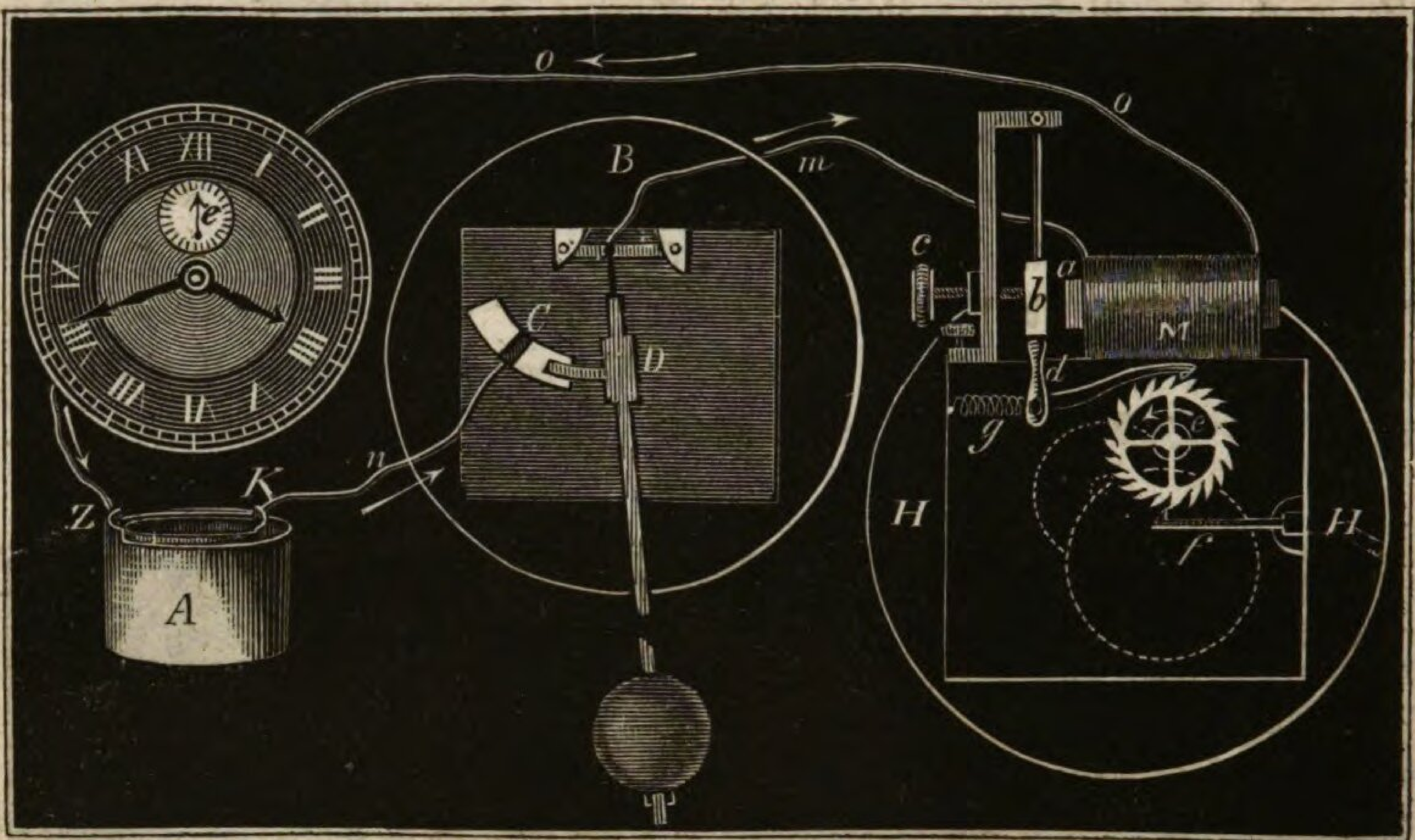


B bezeichnet die hintere Seite der Normal-Uhr, deren Pendel halbe Secunden schlägt. *C* ist ein Elfenbeinstreifen, der durch ein eingelegtes Kupferstück in zwei Theile getheilt ist. Auf der Pendelstange sitzt die Metallfeder *D*, welche bei der Bewegung des Pendels über den Elfenbeinstreifen *C* gleitet und bei der äußersten Lage des Pendels mit dem eingelegten Metallstück in Contact zu stehen kommt; letzteres ist durch einen Draht *n* mit dem positiven Pol *K* der Batterie *A* verbunden.

Von der Aufhängefeder des Pendels, die mit *D* in metallischem Contacte steht, geht ein Draht *m* nach dem Elektromagneten *M* der ersten galvanischen oder secundären Uhr *HH*; das Ende des Umwindungsdrahtes von *M* ist mit dem nach der zweiten Uhr hinlaufenden Leitungsdrahte *oo* verbunden, der in gleicher Weise mit dem Elektromagneten dieser Uhr ver-

bunden ist, wie m mit M; von der letzten galvanischen Uhr geht das Ende des Umwindungsdrahtes ihres Elektromagneten zu dem negativen Pole Z

Fig. 222.



der Batterie A. Es befinden sich demnach die Elektromagnete sämmtlicher secundärer Apparate in derselben Leitung und alle sind gleichzeitig vom Strome der Batterie afficirt, sobald durch den Contact der Feder D mit dem Metall C die Batterie geschlossen wird; die bezeichneten Pfeile bezeichnen die Richtung des Stromes.

HH bezeichnet die innere Einrichtung einer secundären Uhr: b ist der Anker des Elektromagneten, an dessen freiem Ende d eine hakenförmige Klinke befestigt ist, deren Haken in die Zähne eines Rades e eingreift. Der Sperrhaken f verhindert eine rückgängige Bewegung dieses Rades. Die Schraube c regulirt die Gangweite des Hakens und die Feder g zieht denselben in seine Ruhelage zurück, wenn er nicht mehr von dem Elektromagneten angezogen wird.

Der Gang der Uhren erfolgt nun in folgender Weise:

Sobald das Pendel beim Anfange der ersten Secunde nach der Linken bewegt und dadurch D mit dem Kupferstück C in Berührung gebracht wird, ist die Batterie A geschlossen. In allen secundären Uhren wird daher der Anker b von a angezogen und der Haken d legt sich in die nächste Zahnlücke des Rades e ein. Sobald aber gleich darauf das Pendel zurückschwingt und D auf Elfenbein kommt, ist der Strom unterbrochen, die Feder g zieht den Haken d zurück und dieser nimmt einen Zahn des Rades e mit. Erst nach Vollendung der ersten Secunde kommt D wieder

auf das Kupferstück C zu stehen; die Batterie ist wieder geschlossen und es legen sich die Haken d sämmtlicher secundärer Uhren in die folgenden Zahnlücken des Rades e ein u. s. w. Man sieht, wie dieses Spiel des Hakens d sich mit jeder Secunde wiederholt und das Rad e, wenn es 60 Zähne hat, sich genau in einer Minute umdrehen muß. Der Zeiger desselben giebt daher die Secunden an; die Bewegung des Minuten- und des Stundenzeigers erfolgt dann von dem Rade e aus, wie bei den gewöhnlichen Uhren.

Garnier's Uhren sind bereits mehrfach im Großen in Anwendung; sie setzen ebenfalls eine Normaluhr voraus, in welcher nicht das Pendel selbst, sondern ein besonderes Rad alle 5 oder 6 Secunden einmal die Batterie schließt. Die secundären Uhren, die in Fig. 223 abgebildet sind, zeichnen sich durch einen sehr sichern Gang aus, der durch die eigenthümliche Construction des Hemmungsrades erhalten wird.

Fig. 223.

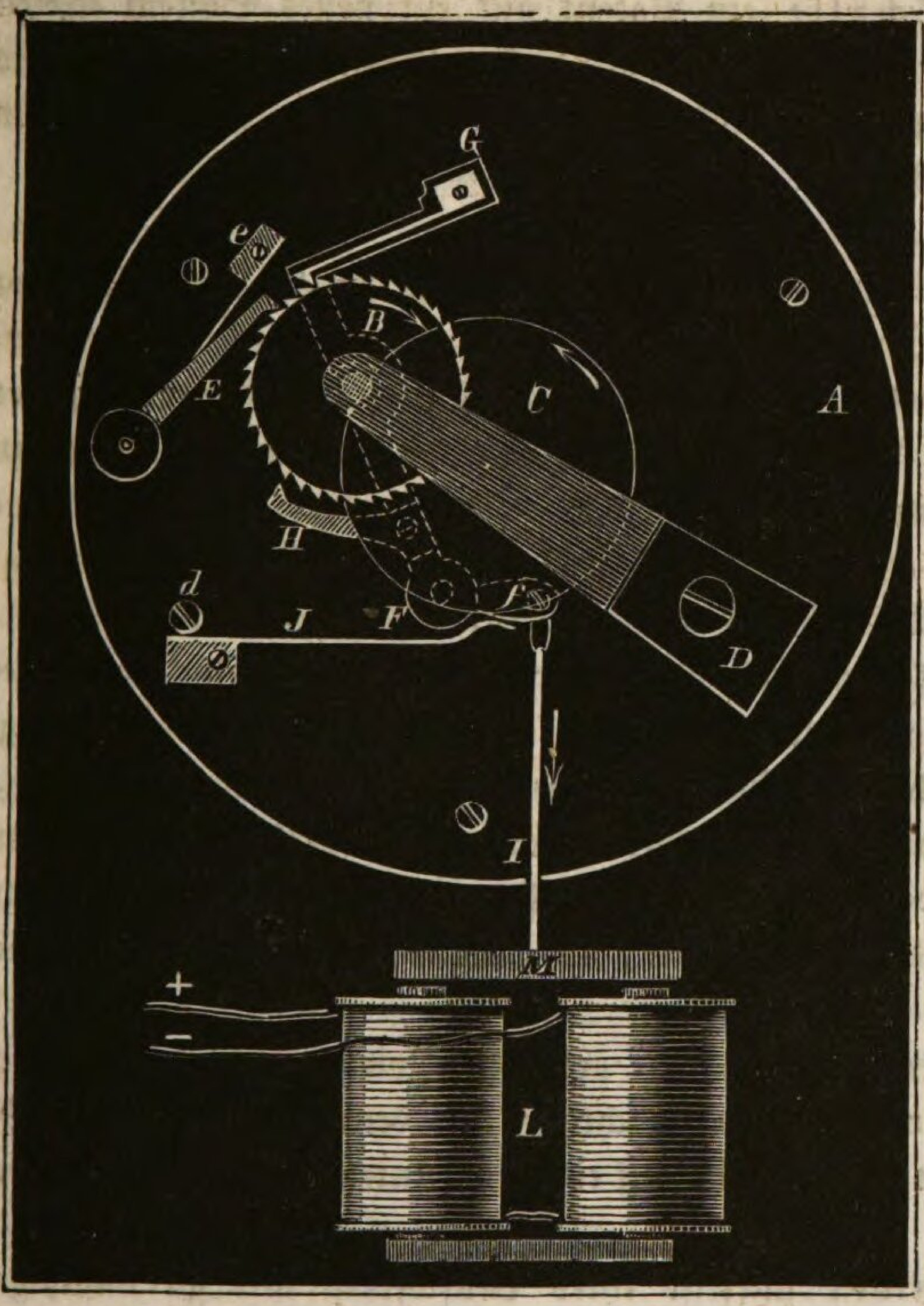


Fig. 224.



M der Anker des Elektromagneten, der alle 5—6 Secunden in Folge des durch die Normaluhr erzeugten Stromes angezogen wird und dann

an der Stange *I* den Arm *f* des Winkelhebels *f F G* (s. Fig. 225) niederzieht. Der obere Theil dieses Hebels enthält den Haken *G*, welcher in den Zahnlücken des Rades *B* liegt und es um einen Zahn nach der Richtung des Pfeiles dreht, sobald *f* niedergeht und dadurch *G* nach der Rechten geschoben wird. Zugleich legt sich dabei der Haken *H* in die Zähne des Rades *B* ein, um zu verhüten, daß nie zwei Zähne zugleich durch *G* fortgezogen werden können; während der Sperrhaken *E* eine rückläufige Bewegung dieses Rades *B* nicht zuläßt. Die Bewegung des Rades *B*, die durch diese Vorkehrungen sehr bestimmt wird, überträgt sich mittelst eines Systems von Rädern auf den Minuten- und Stundenzeiger.

Fig. 225.



Gegenwärtig beschäftigt sich Stöhrer, der bereits im Jahre 1849 mit dem Uhrmacher W. Scholle ein Patent auf ein neues System elektrischer Uhren genommen hat, vielfach mit diesem Gegenstande, und bereits befindet sich eine ziemliche Anzahl von seinen Apparaten in Leipzig, in Berlin u. a. O. im Betriebe.

237 **Galvanisch registrirende Uhren** sind zuerst in Nordamerika vor ungefähr anderthalb Jahren von Professor Locke erfunden und in Anwendung gebracht worden. Um von dieser sinnreichen Benutzung des Galvanismus, welche für die Astronomie von der größten Bedeutung zu werden verspricht, unsern Lesern einen Begriff zu geben, folgt hier, was Lamont in seinem astronomischen Kalender für das Königreich Baiern auf das Jahr 1852 Seite 153 darüber sagt:

»Zu einer galvanisch registrirenden Uhr braucht man als Haupttheil »eine gewöhnliche astronomische Uhr mit folgender specieller Einrichtung:

»Die Axe, an welcher der Secundenzeiger der Uhr festgemacht ist, trägt »(hinter dem Zifferblatte) ein besonderes Rad mit 60 Zähnen: so oft eine »Secunde springt, bewirkt ein Zahn dieses Rades eine augenblickliche »Schließung einer galvanischen Kette, in welcher sich ein Elektromagnet »befindet.

»In dem Momente, wo die Kette geschlossen wird, zieht der Elektro»magnet seinen Anker an, dabei macht ein mit dem Anker verbundenes »spitziges Hämmerchen einen Punkt auf einen darunter befindlichen Papier»streifen.

»Da der Papierstreifen mittelst eines Laufwerkes mit gleichmäßiger »Geschwindigkeit sich unter dem Hämmerchen vorwärts bewegt, so wird »auf solche Weise eine Reihe von Punkten (nach Locke's Einrich-

»tung ungefähr einen Zoll auseinander) auf dem Papierstreifen entstehen, »welche die Zeitsecunden vorstellen. Diese nennt man Se=»cundenpunkte.

»Das Rad, welches die Schließung der Kette bewirkt, ist so eingerichtet, »daß bei der 60sten Secunde die Schließung etwas länger dauert; es ent=»steht demnach bei jeder Minute auf dem Papiere anstatt des Punktes »ein kurzer Strich. Auf solche Weise werden die vollen Minuten er=»kennbar gemacht.«

»Dies ist die ganze Einrichtung, so weit die Uhr einzuwirken hat: der »Zweck geht dahin, daß die Secunden aufgezeichnet werden.

»Neben dem eben besprochenen Elektromagnet ist aber ein zweiter festge=»macht, der ebenfalls mit Anker und Hämmerchen versehen ist und einer »Kette angehört, die der Beobachter beliebig schließen kann, da=»durch, daß er mit dem Finger auf eine Taste (ähnlich einer Klaviertaste) »anschlägt. Die zwei Hämmerchen befinden sich unmittelbar neben einander, »und so oft die Taste angeschlagen wird, macht das zweite Hämmerchen »einen Punkt in gleicher Weise wie das erste; wenn man also wiederholt »anschlägt, so entsteht auf dem Papierstreifen eine zweite Reihe von Punk=»ten neben der ersten Reihe — den Secundenpunkten — fortlaufend. »Diese werden Beobachtungspunkte genannt.

»Nach der gegebenen Erklärung wird man sich den Gebrauch leicht vor=»stellen können. Es sei z. B. eine Sonnenfinsterniß zu beobachten, so »sieht man durch das Fernrohr und hält den Finger an der Taste, bis der »Mondrand die Sonne berührt. In dem Augenblicke, wo die Berührung »stattfindet, schlägt man die Taste an und ein Punkt ist auf dem Papier=»streifen gemacht.

»Nun sieht man auf dem Papierstreifen nach. Steht der Beobachtungs=»punkt neben einem Secundenpunkte, so hat die Beobachtung mit der »Secunde zusammengetroffen und der Anfang der Finsterniß tritt um so »viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Trifft der Beobachtungspunkt »nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden »ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen »abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wie viel Zehntel »und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorher=»gehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer »Beobachtung bis auf Hundertel=Secunden genau zu ermitteln.

»Diese große Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug »der galvanisch registrirenden Uhr.

»Auf ähnliche Weise wird verfahren, wenn man an einem Meridian=»Instrument die Durchgänge der Sterne beobachtet. So oft der Stern »an einen Faden kommt, so schlägt man die Taste an und kann auf dem

»Papierstreifen später die Zeiten mit beliebiger Schärfe ablesen. Wenn »man aber Beobachtungen dieser Art macht, so ist es vor Allem zweckmäßig, »die gewöhnlichen Fadennetze der Meridianinstrumente abzuändern. Bei »der gewöhnlichen Beobachtung hat man gefunden, daß die Zwischenräume »der Fäden 25 Secunden (Zeit) betragen müssen, wenn die Durchgänge »gehörig bestimmt werden sollen. Beim Anschlagen der Tasten dagegen »reichen Zwischenräume von $1\frac{1}{2}$ Secunden vollkommen aus, so daß man »10 Fäden hinbringen kann, wo früher nur einer war.

»Die Zahl der Beobachtungen kann also in derselben Zeit auf das »Zehnfache vermehrt werden, und was sonst in zehn Jahren geleistet »werden konnte, läßt sich jetzt mit Hülfe einer registrirenden »Uhr in einem Jahre zu Stande bringen.

»Die zwei Vortheile, die wir eben bezeichnet haben: nämlich größere »Genauigkeit der einzelnen Beobachtung und zehnfach grö- »ßere Leistung in demselben Zeitraum, werden an und für sich zu »dem Ausspruche berechtigen, daß die Astronomie durch die Erfindung von »Locke ein mächtiges Hülfsmittel erhalten hat. Der Ausspruch wird noch »mehr gerechtfertigt erscheinen, wenn wir noch die sonstigen Vortheile re- »gistrirender Uhren näher betrachten.

»Bisher mußte man die Uhr immer neben sich haben, um die Secunden »zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren »Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel ge- »geben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr »dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung »leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht ein- »mal erforderlich, daß die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst »ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmäßiger, sie in einem Wohn- »zimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzu- »stellen, wo sie keiner großen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und »einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

»Eine registrirende Uhr läßt sich ferner noch mit dem elektrischen Tele- »graphen in Verbindung bringen und zu mannichfaltigen Zwecken benutzen. »Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und »einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der »Durchgang derselben Sterne über den Meridian beobachtet wird, so läßt »sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische »Längendifferenz ableiten.

»Solche Bestimmungen sind in Nordamerika bereits mit dem besten »Erfolge ausgeführt worden. Aehnliche Operationen werden ohne Zweifel »bald auf dem europäischen Continent zur Ausführung kommen. Schon »in der nächsten Zukunft wird das Telegraphennetz so weit ausgebreitet

»seyn, daß die Sternwarten von Paris, Wien, Berlin, München, Prag, »Mailand, Brüssel, Bonn, Breslau, Leipzig unmittelbar mit einander in »Verbindung gesetzt werden können.

»Ein weiterer Vortheil besteht darin, daß eine genaue Vergleichung der »Uhren verschiedener Sternwarten stattfinden kann, was bei mancherlei »Gelegenheit von Wichtigkeit ist, besonders bei Sonnenfinsternissen, bei »merkwürdigen Sternbedeckungen u. s. w.

Lamont hat auf der Münchener Sternwarte bereits eine galvanisch registrirende Uhr eingerichtet.

Galvanische Töne. Der Erste, welcher eine hierher gehörige Tonbil- 238
dung beobachtet hat, ist Page. Eine flache Spirale von 40 Windungen eines dicken (übersponnenen) Kupferdrahtes wurde zwischen den Polen eines aufgehängten Hufeisenmagneten so angebracht, daß keine Berührung zwischen der Spirale und den Polen stattfand. Die Spirale befand sich im Schließungsbogen eines einfachen voltaischen Elementes. Wenn nun die Kette geöffnet oder geschlossen wurde, so hörte Page in dem Magneten einen anhaltenden Ton. Beim Schließen war der Ton schwächer als beim Oeffnen, in welchem Fall er auf 2—3 Fuß Entfernung hörbar war. Das Oeffnen und Schließen der Kette geschah in solcher Entfernung von der Spirale und dem Magneten, daß das Geräusch der dabei entstehenden Funken nicht störend einwirken konnte. (Silliman, Amer. Journ. July 1837. P. A. XXXXIII, 411).

Im LXIII. Bande von Poggendorf's Annalen findet sich nun auf Seite 530 in Betreff des Tönens beim Elektromagnetisiren die Notiz, daß Page's Entdeckung zu Frankfurt a. M. dahin erweitert ward, daß Eisenblech, zu einem Cylinder gebogen, innerhalb des schraubenförmigen Schließungsdrahtes einer voltaischen Kette beim Anfang und Ende des Stromes ein Knistern hören lasse. — Von wem dieser Versuch herrührt, ist nicht gesagt. An derselben Stelle wird aber weiter berichtet, daß Marrian in Birmingham das Tönen von Eisenstäben beobachtet habe, welche sich in einer Magnetisirungsspirale befinden, wenn der Strom, welcher dieselbe durchläuft, abwechselnd unterbrochen und wieder hergestellt wird. — Die Stäbe waren $\frac{1}{4}$ bis 2 Zoll dick und $\frac{1}{2}$ bis 20 Fuß lang; sie gaben dabei immer denselben Ton, der auch durch Streichen ihres Endes zu erhalten war (also wahrscheinlich der Longetudinalton). Harter Stahl und ein Magnetstab verhielten sich ebenso. Andere Metalle tönten nicht.

Diese Notiz ist dem Phil. Mag. (1844 Vol. 25 p. 382) entnommen, wo wahrscheinlich Näheres über die Art und Weise sich findet, wie Marrian seine Versuche anstellte. Weiter unten finden sich detaillirte Angaben über ähnliche Versuche Wertheim's.

Die Comptes rendus (T. XX, p. 1827) enthalten einen Brief De La Rive's an Arago, in welchem er von seinen Versuchen über das galvanische Tönen Nachricht giebt. (P. A. LXV, 637). Was in demselben über die Versuche selbst gesagt ist, mag hier (mit Hinweglassung alles Raisonnements) wörtlich folgen:

»Auf einem Resonanzboden brachte ich Drähte und Stäbe an, ver»schieden an Metall, an Länge und Durchmesser; die Einrichtung des »Apparates erlaubte, die Drähte mehr oder weniger zu spannen, wie »auf einem Monochord. Jeder Stab oder Draht war so angeordnet, »daß er durch die Axe einer Spule gehen konnte, die mit einem dicken, »mit Seide übersponnenen Kupferdraht schraubenförmig umgeben war. »Den mittelst eines Commutators discontinuirlich gemachten Strom ließ »ich bald durch den zum Versuch genommenen Metalldraht selber gehen, »bald durch den ihn umgebenden Schraubendraht. Folgendes waren die »Resultate:

»Bei eisernen Drähten und Stäben ist der Ton fast derselbe, es mag »der discontinuirliche Strom geradezu durch sie gehen, oder sie abwechselnd »magnetisiren und demagnetisiren, indem man ihn durch den Schrauben»draht leitet. — — — — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — —

»Was den Ton betrifft, so kann ich keine bessere Idee von ihm geben, »als wenn ich ihn mit dem eines Savart'schen gezahnten Rades vergleiche. »Es ist mehr ein Geräusch, hervorgehend aus dem Stoß der Metall»theilchen gegeneinander, als ein musikalischer Ton. Freilich hört man »auch musikalische Töne, nämlich die harmonischen von demjenigen, wel»chen der Draht oder Stab durch Querschwingungen geben würde; — — — — Man kann sie verschwinden machen, wenn man den schwin»genden Körper mit der Hand anfaßt, ohne daß dadurch das eigentliche »Geräusch aufhört.

»Wenn der Eisendraht angelassen ist, giebt er bei Leitung des elektrischen »Stroms einen weit stärkeren Ton, als wenn er durch die Wirkung des »Schraubendrahtes abwechselnd magnetisirt und demagnetisirt wird. Das »Umgekehrte findet bei einem gehärteten Stahl statt. Ein Stahldraht giebt, »den Strom leitend, nur einen sehr schwachen Ton, und unter Einfluß des durch »den Schraubendraht gehenden Stromes einen weit stärkern. Der Ton, »welchen ein wohl angelassener Eisendraht bei Leitung des Stromes giebt, »ist ein sehr starker, der viel Aehnlichkeit hat mit dem Ton einer Thurm»glocke von Weitem.

»Die Art des Tones ist verschieden nach der Geschwindigkeit, mit welchen »die discontinuirlichen Ströme auf einander folgen. Ist diese Folge rasch, »so ähnelt der Ton sehr dem Geräusch eines starken Windes. Das gilt

»sowohl von dem nach der einen, als nach der andern Art hervorge-»brachten Ton.

»Derselben doppelten Wirkung habe ich ausgesetzt: Platin-, Silber-, »Kupfer-, Messing-, Neusilber-, Blei-, Zinn- und Zinkdrähte. Alle gaben »wahrnehmbare, mehr oder weniger intensive Töne, sie mogten den Strom »leiten oder der Wirkung des schraubenförmigen Stroms ausgesetzt seyn. »Bei jedem Metall war zwischen dem nach der einen oder der andern »Weise erzeugten Ton kein merklicher Unterschied.

»Merkwürdig ist, daß Kupfer, Messing, Platin und Argentan nur »einigermaßen intensive Töne geben, so lange sie keiner merklichen Span-»nung ausgesetzt sind, so wie man sie aber ein wenig spannt, nimmt die »Intensität des Tones ab und bei starker Spannung wird sie fast Null. »Genau das Umgekehrte gilt vom Blei, Zink und Zinn.

»Die Länge des Drahtes hat keinen Einfluß auf die Art des Tons; »sie hat nur einen auf die Intensität desselben insofern, als bei schwächerem »Strom eine geringere Drahtlänge erforderlich ist, wenn der Ton merklich »seyn soll, wenigstens wenn es sich um den Ton handelt, den der Draht »bei Leitung des Stromes giebt. — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — —

»Eine Grovesche Batterie von 5 großen Elementen reicht zu den meisten »dieser Versuche aus. Die Metalle, welche am schlechtesten leiten, scheinen »mir die ausgezeichnetsten Wirkungen zu geben; nächst dem Eisen, das »alle übrigen weit übertrifft, kommt das Platin.

»Damit die Wirkung deutlich sey, muß der Strom in dem metallischen »Leiter, welchen er in Schwingungen versetzen soll, einen größeren Wider-»stand antreffen, als im übrigen Theil der Kette. — — — —
— — — — — — — — — — — — — —

»Eine recht merkwürdige Art von Schwingung erhält man, wenn man »den discontinuirlichen Strom durch einen mit Seide besponnenen Kupfer-»draht gehen läßt, der um eine Spule oder einen Glasbecher schrauben-»förmig aufgewickelt ist. Der Ton ist dann von viel sanfterem, weniger »metallischem Klange und zugleich weit tiefer als der, welcher durch den »Einfluß des Stromes auf einen gleich dicken, in die Schraube gelegten »Draht hervorgebracht wird. (Demnach sollte man wohl erwarten, daß jede Magnetisirungsspirale tönt! M.)

»Die Schwingungsbewegung, die aus successiver Magnetisirung und »Entmagnetisirung des weichen Eisens entsteht, kann unter sehr mannich-»faltigen Formen auftreten. Als einen der sonderbarsten Fälle erwähne »ich nur den, wo man in das Innere einer Spule oder eines Glases, »welches schraubenförmig mit einem Metalldraht umwickelt ist, sehr kleine »Scheiben von dünnem Eisenblech oder sehr feines Eisenfeilicht bringt.

»Wenn dann der discontinuirliche Strom den Schraubendraht durchläuft, »so sieht man die Scheibchen sich bewegen und in der merkwürdigsten »Weise um einander drehen. Das Feilsel scheint vollkommen im Kochen »zu seyn, und ist der Strom intensiv, so spritzt es, wie Wasser, in Strah- »len von 3 bis 4 Centimeter Höhe auf; zugleich ist diese Bewegung des »Feilsels von einem Geräusch, ähnlich dem einer siedenden Flüssigkeit, »begleitet.«

In dem schon oben auf Seite 408 erwähnten Aufsatze De La Rive's, verbreitet sich derselbe (Seite 285) auch über die galvanischen Töne. Die das Experiment selbst betreffenden Stellen sind folgende:

»Außer Eisenstäben nahm ich auch Stäbe von anderen Metallen, wie »Zinn, Zink, Blei, Wismuth u. s. w. Ich legte sie auf die Pole eines »Elektromagneten und ließ den unterbrochenen Strom einer Groveschen »Batterie von 5 bis 10 Paaren durch sie gehen. So lange der Elektro- »magnet nicht magnetisirt war, gaben sie keinen Ton; so wie er aber »wirkte, hörte man deutlich Töne, bestehend aus einer Reihe von Schlägen, »welche den Unterbrechungen des Stromes entsprachen und den durch ein »gezahntes Rad erzeugten Tönen analog waren. Die Stäbe waren 18 »Zoll lang und 9 bis 10 Linien im Quadrat. Stäbe von Kupfer, Platin »und Silber gaben ähnliche Wirkungen. Ein Eisenstab gab unter dem »Einfluß des Magneten keinen lauteren Ton, als ohne dessen Einwirkung.

»Am merkwürdigsten schien es mir, daß Blei, ein so wenig elastischer »Körper, unter gleichen Umständen einen eben so kräftigen Ton lieferte, »wie die übrigen Metalle. Die Lage der Metallstäbe in Beziehung auf »die Pole des Elektromagneten änderte das Resultat des Versuchs in keiner »Weise ab; sie mochten axial, d. h. in der Richtung der Pole, oder äqua- »torial, d. h. quer gegen die Pole gelegt werden, so blieb doch der Effect »derselbe; nur war er schwächer, so wie die Entfernung des Stabes von »den Polen wuchs. Um den Ton, wenn er nicht sehr stark war, deut- »lich zu hören, brauchte man nur den Metallstab durch einen Holzstab »mit dem Ohr in Verbindung zu setzen. Auf diese Weise wurde der Ton »nicht selten einige Secunden lang gehört und wenn der Elektromagnet »außer Thätigkeit gesetzt ward, vor seinem gänzlichen Verschwinden lang- »sam abnehmend. — — — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — —

»Die Stärke des Tons scheint viel weniger von der Natur der zum »Versuch genommenen Substanz abzuhängen, als von deren Gestalt, »Volum und Masse. Röhren von Platin, Kupfer oder Zink geben deut- »lichere Töne, als massive Stäbe von diesen Metallen. Ich wickelte einen »Bleidraht schraubenförmig auf einen Holzcylinder; ich that dasselbe mit »einem sehr feinen Platindraht, sowie auch mit Drähten von Kupfer,

»Zink und Zinn, mit der Vorsorge, die Windungen so weit auseinander »zu halten, daß sie isolirt waren. Diese Schraubendrähte gleich Stäben »oder Röhren entweder in der Richtung der Pole oder quer darauf gelegt, »gaben sehr starke Töne, wenn bei geladenem Elektromagnet ein unter»brochener Strom durch sie geleitet wurde. Besonders überraschend war »es, den Bleidraht einen so starken Ton geben zu hören. Ein mit Seide »besponnener Kupferdraht, in mehreren Lagen schraubenförmig übereinander »gewickelt, gab ebenfalls einen sehr starken Ton; auch gab er einen, obwohl viel schwächern, unter Einwirkung des Elektromagneten.

»Es ist fast unnöthig, zu bemerken, daß bei allen diesen Versuchen ein »gewöhnlicher Magnet eben so wirkt wie ein Elektromagnet. Allein in»teressanter ist es, den Elektromagneten durch einen Schraubendraht zu »ersetzen, welcher von einem starken continuirlichen Strom durchlaufen »wird, in dessen Axe man den Stab, die Röhre oder den aufgewickelten »Draht, welcher den unterbrochenen Strom leitet, gelegt hat. Versuche »haben mir gezeigt, daß in diesem Falle die Resultate dieselben sind; die »Stärke der Töne ist nicht sehr verschieden, besonders wenn Röhren und »schraubenförmige aufgewickelte Drähte gebraucht werden. Wenn zwi»schen dem äußern Schraubendraht und dem der Wirkung unterworfenen »Metall eine Röhre von weichem Eisen eingeschoben wird, ist die Wir»kung etwas stärker; dagegen wird sie, wenn die Röhre von Kupfer ist, »weder verstärkt noch geschwächt; nur hört man in diesem Fall noch ei»nen andern Ton, der von der Kupferröhre auszugehen scheint. Diese »Röhre wird indeß nicht von einem Strom durchlaufen; allein wahr»scheinlich wirken auf sie Inductionsströme, welche von den unterbroche»nen Strömen, die den in der Axe des Schraubendrahtes liegenden Leiter »durchlaufen, in ihr erzeugt werden. Ich construirte aus zwei dicken, mit »Seide besponnenen Kupferdrähten einen doppelten Schraubendraht, jeden »von mehreren Windungen und den einen über den andern. Als ich den »stetigen Strom durch den äußern Draht gehen ließ, und den unterbro»chenen durch den inneren, hörte ich einen merkwürdig starken Ton. Im »umgekehrten Fall entstand ein viel schwächerer Ton.

»Metalle und starre Substanzen sind nicht die einzigen Körper, »welche die oben beschriebenen Erscheinungen hervorbringen; vielmehr schei»nen alle leitenden Körper, was auch ihr Zustand oder ihre Natur seyn »möge, dazu geschickt zu seyn. So habe ich sie mit Kohlenstücken aller »Arten und Gestalten beobachtet. Auch Quecksilber erzeugt sie in markir»ter Weise. In eine Glasröhre von 1 Zoll Durchmesser und 10 Zoll »Länge schloß ich Quecksilber ein; die Röhre war ganz voll und sorgfältig »verschlossen, so daß das Quecksilber sich nicht bewegen konnte. Dennoch »wurde ein merkwürdig starker Ton gehört, so wie man mittelst zweier

»Platindrähte einen unterbrochenen Strom hindurchleitete und den Elek-
»tromagneten oder Schraubendraht wirken ließ. Ebenso gab Quecksilber »einen Ton, wenn es, statt in eine Röhre eingeschlossen zu sein, in einen »offenen Trog gegossen war. — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — —

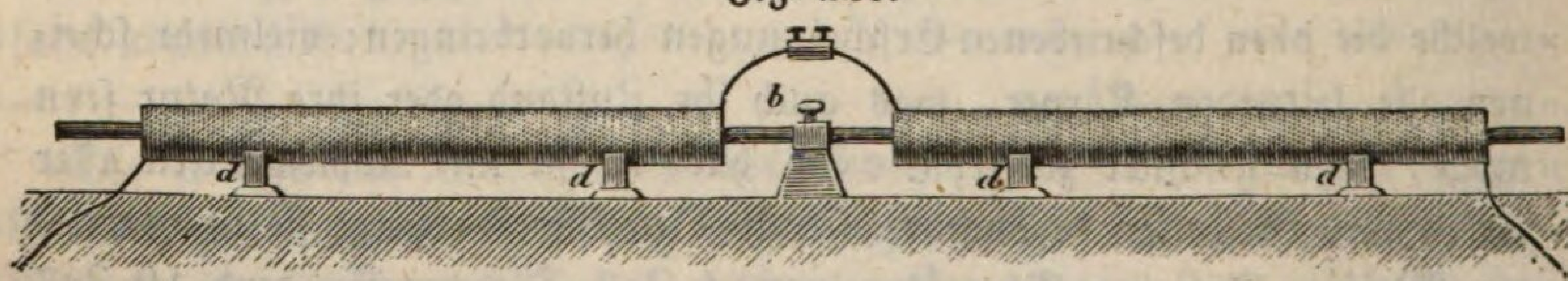
»In eine Platinschale, die auf einem der Pole eines Elektromagneten »stand, wurde successive verdünnte Schwefelsäure, und was selbst besser »ist, Salzwasser gegossen. In die Flüssigkeit tauchte man eine Platin-»spitze, die nebst der Schale dazu dient, einen unterbrochenen Strom »durch jene zu senden. Wiederum ward ein Ton gehört, doch weniger »deutlich, wegen des Geräusches, welches die Gasentwickelung verursachte; »dennoch war es so vernehmlich, daß über sein Daseyn kein Zweifel übrig »bleiben konnte.«

Gewiß ist es eine Reihe eben so interessanter, wie für die Entwickelung der Theorie wichtiger Erscheinungen, welche De la Rive durch seine Experimentaluntersuchungen aufgefunden und in dem Obigen bekannt gemacht hat. Was nun aber die Details der Versuche anbelangt, so ist schwerlich in Abrede zu stellen, daß De la Rive in den citirten Stellen die Bedingungen nicht genügend hervorgehoben hat, welche zum Gelingen der Versuche nothwendig sind. Ein weiterer Aufsatz De la Rive's über denselben Gegenstand in den Annales de l'électricité Nro. 17. ist mir nicht zu Gesicht gekommen, ich weiß also nicht, ob er präcisere Angaben enthält.

239 **Wertheim's Untersuchungen über die durch den elektrischen Strom hervorgebrachten Töne.** Auch Wertheim hat über die Tonerregung durch Galvanismus Versuche angestellt. Die erste Notiz findet sich in Compt. rend. XXII, p. 336. P. A. LXVIII, S. 140. In einem späteren Aufsatz (Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIII, 302; P. A. LXXVII, 43.) sind diese Versuche genauer beschrieben und durch Abbildungen erläutert.

Um den galvanischen Ton in Eisenstäben zu erzeugen, wandte er den Apparat Fig. 226 an. Ein 2 Meter langer Eisenstab ist in seiner Mitte

Fig. 226.



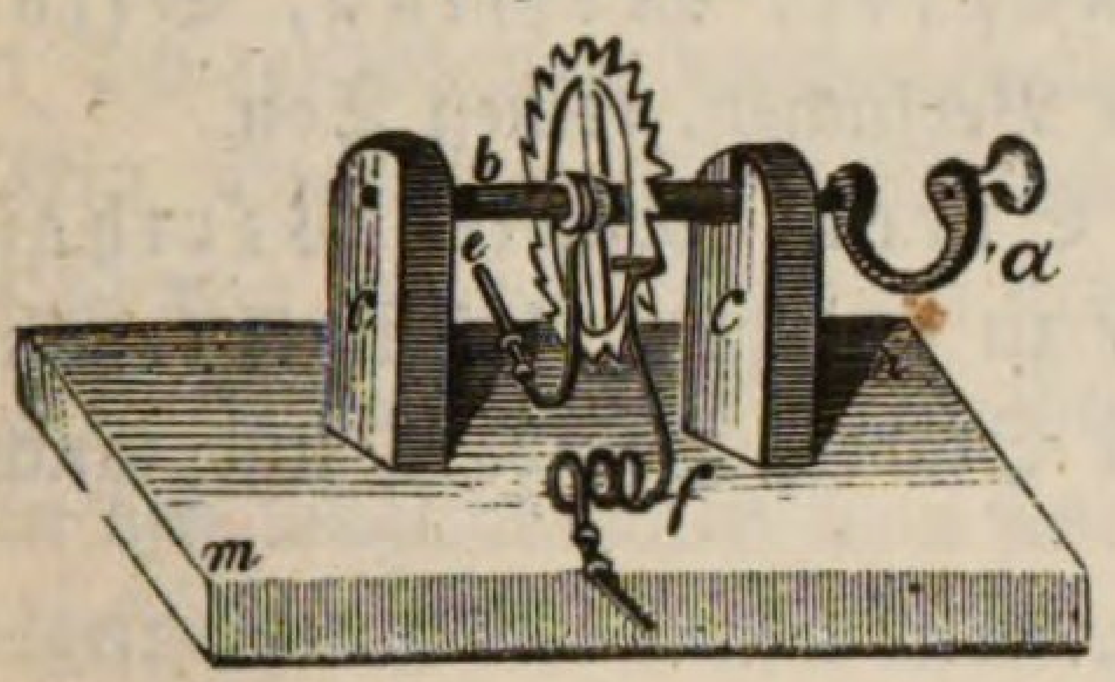
bei *b* festgeklemmt; über jede Hälfte ist eine auf eine Glasröhre gewickelte, durch die Füße *d* getragene 90 Centimeter lange Magnetisirungsspirale geschoben, so daß das Ende des Stabes noch vorragt.

Durch Streichen eines der freien Enden kann man den longitudinalen Ton des Stabes erzeugen. Dieser Ton bleibt derselbe, mag nun in den Spiralen ein Strom circuliren oder nicht.

Sobald man den Strom discontinuirlich macht, läßt der Stab ebenfalls einen Ton hören, welcher dem durch Reiben erzeugten Longitudinalton ganz gleich ist; er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Die Unterbrechungen und Wiederschließungen des Stromes wurden entweder an einer der Drahtklemmen bewerkstelligt, oder mittelst eines in den Schließungsbogen eingeschalteten Quecksilbernäpfchens, oder endlich mittelst eines Rheotoms (ein Apparat wie der Fig. 227 ist dazu ganz tauglich) zu Stande gebracht, welcher, um das Geräusch und die Stöße seiner Bewegung zu vermeiden, in einem anstoßenden Zimmer aufgestellt war.

Fig. 227.



Als zu diesem Versuche Stäbe von 2 — 1,6 — 1,33 und 1 Meter Länge angewandt wurden, gaben sie den Grundton, die Terz, die Quart und die Octav.

Der longitudinale Ton ist fast immer begleitet von einem Stoß und trockenem Geräusch, welches nicht den Charakter eines bestimmten musikalischen Tones hat.

Das Resultat bleibt für alle Querdimensionen dasselbe.

Stahlstäbe geben gleichfalls sehr schöne Töne; dagegen geben Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas u. s. w. selbst mit Säulen von 20 Bunsen'schen Elementen keinen Ton.

Befindet sich der Stab außerhalb der Axe der Spirale, so ist der longitudinale Ton weniger rein und von Querschwingungen begleitet, die schon dem bloßen Auge sichtbar sind; allein diese Schwingungen geben einen so schwachen Transversalton, daß man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Der Ton bleibt sich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengesetztem Sinn die beiden Hälften des Stabes umkreisen, oder endlich nur auf eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, sobald nur dieser Theil hinlänglich vom Einspannungspunkt entfernt und der Strom hinlänglich stark ist.

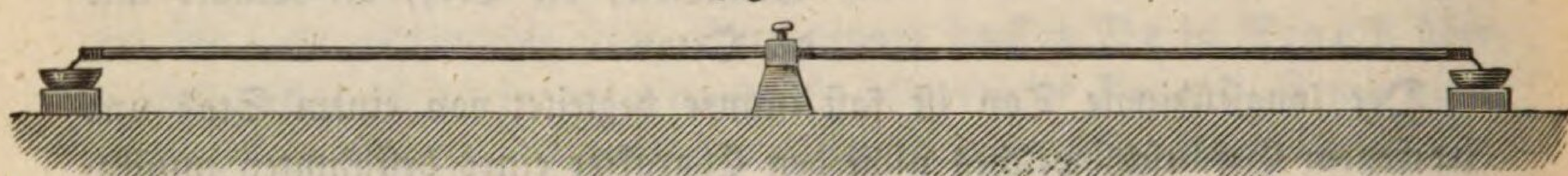
Aehnliche Resultate wurden mit Eisen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetisirungsspirale ausgespannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 Millimetern Dicke an. Sobald die Spannung so stark war, daß der am Draht hinabgeführte Vio-

linbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräusch vornehmen ließ, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, ist sowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem andern Geräusch begleitet. Dieses Geräusch ist nicht bloß der Querton, sondern ein ganz eigenthümliches, anscheinend den Draht entlang laufendes Geklirr, so wie andere Arten von schwer bestimmbarem Geräusch, welches vorzugsweise bei rasch auf einander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten ist dieses Geräusch schwer zu beobachten, während der Längston selbst bei schwachen Spannungen andauert. — Wohl angelassene Drähte von 1^{mm} Durchmesser geben im Allgemeinen die besten Resultate.

Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Messing, Silber und Platin geben, nach Wertheim's Versuchen, keinen Ton.

Auch mit dem durchgeleiteten Strom brachte Wertheim Töne hervor. Um sie in einem Eisenstabe zu erzeugen, befestigte er einen dünnen Messinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 228, und tauchte dieselben in Quecksilbernäpfechen.

Fig. 228.

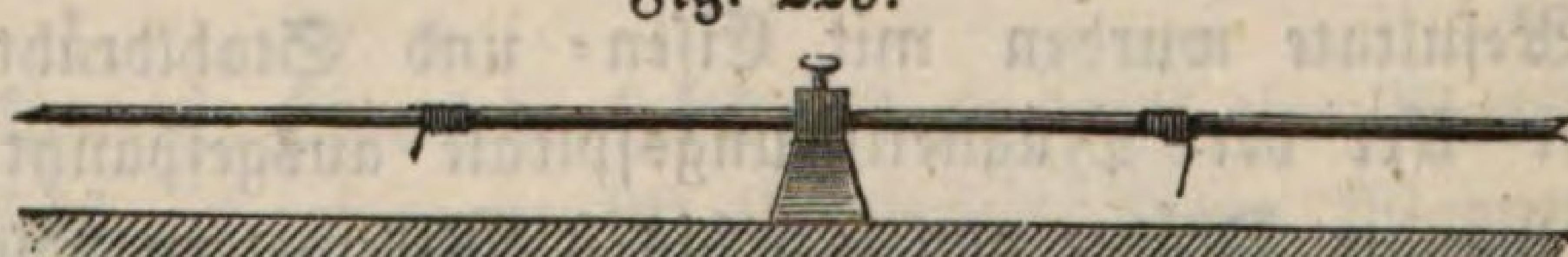


Jedesmal, wenn der Strom hergestellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. »Bei diesen Versuchen muß man sich aber sehr hüten,« sagt Wertheim, »den eigenen Ton des Stabes zu verwechseln mit dem Geräusch des Funkens, welches sich gleich jedem andern Ton mit großer Leichtigkeit durch starre Körper fortpflanzt. Dieser Fehler wird leicht begangen, besonders wenn der Stab oder der Draht auf einem Resonanzkasten befestigt ist.«

Bei gleichem Strom nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker ist.

Derselbe Stab giebt stets denselben Ton, wenn er auch nicht seiner ganzen Länge nach, sondern nur theilweise von dem Strom durchlaufen wird, wie es der Fall ist, wenn die den Strom einleitenden Häkchen so angebracht sind, wie es Fig. 229 andeutet. Je mehr man sich aber mit

Fig. 229.



diesen Einleitungshäkchen der Mitte des Stabes nähert, je kürzer man also das vom Strom durchflossene Stück macht, desto schwächer wird der Ton.

Wenn der Stab nicht eingespannt, sondern auf Rollen gelegt wird, so ist der Ton trockener und schwächer.

Berührt man das Ende des auf Rollen liegenden Stabes direct mit dem Zuleitungsdraht, so hört man deutlich ein Geklirr, welches den Stab entlang zu laufen scheint und von dessen Durchmesser unabhängig ist; es bleibt bisweilen mehrere Secunden, während der Längston erst im Moment der Unterbrechung wieder erscheint. Dies Geklirr erscheint besonders, wenn man den Stab mit dem positiven Pole berührt.

Wertheim macht hier die Bemerkung, daß dieser Ton wahrscheinlich von der Ordnung derjenigen sey, welche De la Rive bei seinen im vorigen Paragraphen besprochenen Untersuchungen beobachtet hat.

Ein Stahlstab läßt denselben Ton und dasselbe Geräusch vernehmen, Stäbe von anderen Metallen geben, nach Wertheim, keinen Ton.

Mit Eisen- und Stahldrähten von verschiedenem Durchmesser erhält man den longitudinalen Ton sehr rein, wenn sie auf dem Sonometer stark ausgespannt sind, so wie man aber ihre Spannung vermindert, mischen sich dem Längston die schon erwähnten Arten von Geräusch bei.

Wenn die beiden Enden eines Eisendrahtes, von dem ein Theil auf dem Sonometer ausgespannt ist, während der Rest schlaff bleibt, mit dem Rheotom in ein benachbartes Zimmer gebracht sind, so hört man im Moment der Stromschließung oder Unterbrechung in allen Theilen der Drahtleitung, wenn man das Ohr an dieselbe hält, eine trockenes Geräusch, ein Knistern, wie das von Funken, welches sich erst im ausgespannten Theile in einen deutlichen Ton verwandelt, während man nichts der Art hört, wenn man durch Reiben des einen Drahtendes an einem harten Körper ein Geräusch erzeugt, welches unmittelbar weit stärker ist als der Funken, sich aber nicht durch den Leiter fortpflanzt.

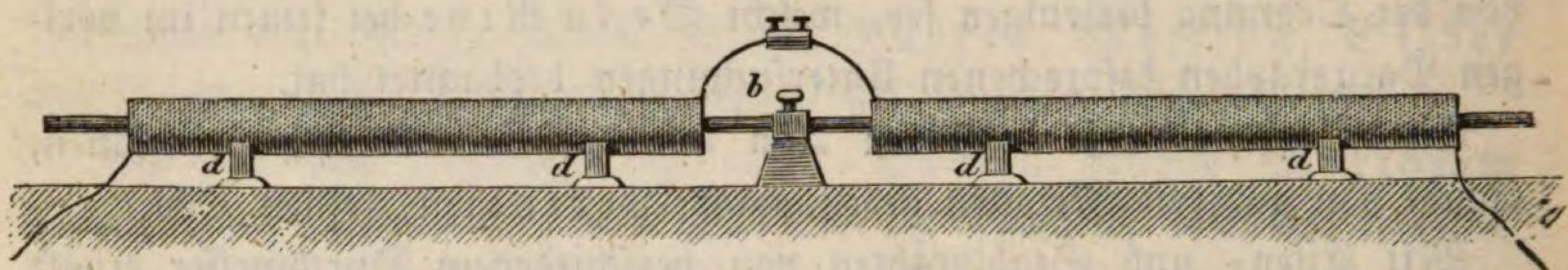
Unter denselben Umständen geben Drähte von anderen Metallen keinen Ton.

Theorie des galvanischen Tönens. Wertheim sucht die bespro- 240
chenen Erscheinungen durch mechanische Wirkungen des Stromes zu erklären. Er sagt in der Einleitung des citirten Aufsatzes: »Können wir »beweisen, daß der Strom, der äußere wie der durchgeleitete, eine plötz- »liche Formveränderung, einen instantanen Stoß im Eisen bewirkt; kön- »nen wir bestimmen, in welcher Richtung dieser mechanische Effect statt- »findet; können wir überdies zeigen, daß derselbe Effect in derselben Rich- »tung von einer andern rein mechanischen Kraft erzeugt, denselben Ton

»wie der Strom hervorbringt: so wird es unnöthig seyn, zur Erklärung »des Phänomens irgend eine besondere Hypothese aufzusuchen, denn offen»bar entspringt er dann aus den Schwingungen, welche jede plötzliche »Formveränderung begleiten, und die Meinungen können nur darin ab»weichen, auf welche Weise der Strom diesen mechanischen Stoß hervor»bringe.«

Um die mechanischen Wirkungen des Stromes auf eine Eisenstange zu untersuchen, wandte W e r t h e i m einen Apparat an, dessen Einrichtung mittelst der in Fig. 230 abgebildeten Vorrichtung erläutert werden kann. Die Eisenstange war auf dieselbe Weise befestigt, nur war der Ständer *b* höher, so daß eine Drahtrolle von größerem Durchmesser in Anwen-

Fig. 230.



dung gebracht werden konnte. Die zu diesen Versuchen dienende Drahtrolle hielt 1336 Meter Kupferdraht von 2,5 Millimeter Durchmesser, sie hatte eine Länge von 25 Centimeter und 18 Centimeter innerem Durchmesser. An den Enden des Stabes waren Mikroskope mit Fadenkreuzen angebracht, durch welche die geringste Ortsveränderung des Stabes beobachtet werden konnte.

Die Resultate sind am deutlichsten, wenn sich die Drahtspirale möglichst nahe am freien Ende des Stabes befindet.

Wenn die Stabaxe genau mit der Axe der Drahtrolle zusammenfiel, beobachtete man keine Seitenbewegung, sondern nur eine s e h r k l e i n e Verlängerung, welche W e r t h e i m einem longitudinalen Zug zuschreibt. Diese Verlängerung ging selten über 0,002 Millimeter, und war, obwohl sichtbar, doch fast unmeßbar.

Nach J o u l e's Messungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetisirten Eisenstabes $1/_{270000}$ seiner Länge (Phil. Magazine, Februar und April 1847).

Verschob man die Drahtrolle parallel mit sich selbst, so daß sich der Stab nicht mehr in ihrer Axe befand, so blieb die Verlängerung, allein sie war von einer weit bedeutenderen Seitenbewegung begleitet. Bei einem quadratischen Stabe, dessen Seite 1 Centimeter und dessen Länge vom Einspannungspunkt bis zum Ende 997 Millimeter betrug, erreichte diese Seitenbewegung die Größe von 0,788 Millimetern, als der Stab 80 Millimeter aus dem Mittel der Spirale gerückt war. Unter gleichen Umständen betrug die Seitenbewegung eines mit seiner breiten Seite aufrecht

gestellten 12^{mm} breiten und $3,375^{mm}$ dicken Streifens von Eisenblech $5,121^{mm}$ und $2,322^{mm}$ bei einem quadratischen Stabe von 5^{mm} Seite.

Durch diese Versuche ist nachgewiesen, daß der durch einen Schraubendraht gehende Strom auf einen innerhalb desselben befindlichen Eisenstab oder Eisendraht einen mechanischen Zug ausübt, welchen man als Resultante einer longitudinalen und einer transversalen Componente betrachten kann. Die im Sinne der Axe der Spirale wirkende Kraft ist es, welche den longitudinalen Ton erzeugt.

Der durchgeleitete Strom erzeugt in dem eisernen Leiter, den er durchläuft, einen plötzlichen Stoß, welcher nur den longitudinalen Ton erzeugen kann, weshalb der transversale Ton gar nicht durch den durchgeleiteten Strom erzeugt wird.

De la Rive ist nun anderer Meinung, er sieht in der Tonbildung durch den galvanischen Strom ein moleculares Phänomen, und glaubt, daß es zum Beweis zweier wichtiger Sätze führe.

1) Der Uebergang des Stromes modificirt, selbst in starren Substanzen, die Anordnung der Theilchen.

2) Die Wirkung des Magnetismus, unter welcher Form sie auch ausgeübt werden möge, modificirt ebenfalls die Constitution aller Körper, und diese Modification dauert so lange als die sie erzeugende Ursache, und verschwindet auch mit ihr.

Diese widersprechenden Ansichten über die Ursache der galvanischen Tonbildung gaben Veranlassung zu einer Discussion, welche in den Comptes rendus (T. XXII, p. 428 und 544) geführt wurde. Wir können hier wohl um so eher über diese Controverse weggehen, als man über die Identität des Phänomens, welches erklärt werden soll, noch keineswegs im Reinen ist, denn daß De la Rive vielfach mit anderen Erscheinungen zu thun hatte, als diejenigen, welche Wertheim untersucht hat, unterliegt wohl keinem Zweifel.

Einfluß des galvanischen Stroms und des Elektromagnetismus auf die Elasticität der Metalle. 241 Ueber diesen Gegenstand hat Wertheim Versuche angestellt, welche ihn zu folgenden Resultaten führten. (Ann. de chem. et de phys. Sér. III. T. XII, p. 610. — P. A. Ergänzungsband v. 1848. S. 99.)

1) Der galvanische Strom bewirkt in den von ihm durchlaufenen Metalldrähten eine momentane Verringerung des Elasticitätscoefficienten, und zwar vermöge seiner eigenen Wirkung, unabhängig von der Verringerung, welche durch die Temperaturerhöhung entsteht. Diese Verringerung verschwindet gänzlich mit dem Strom, wie lange er auch gewirkt haben mag.

2) Die Größe dieser Verringerung hängt von der Stromstärke und wahrscheinlich auch von dem Leitungswiderstand des Metalles ab.

3) Die Cohäsion der Drähte wird durch den Strom verringert; die Veränderlichkeit dieser Verringerung erlaubt jedoch nicht zu unterscheiden, ob sie eine eigene Wirkung des Stromes sey, oder nur eine Folge der Temperaturerhöhung.

4) Die Magnetisirung durch einen continuirlichen Strom bewirkt im weichen Eisen und im Stahl eine kleine Verringerung des Elasticitätscoefficienten, und diese Verringerung bleibt zum Theil selbst nach der Unterbrechung des Stromes.

242 **Elektromagnetische Rotation des Quecksilbers.** Ueber diese interessante Erscheinung hat Poggendorff in seinen Annalen (LXXVII, 1) einige neue Beobachtungen publicirt. Der Beschreibung seiner Versuche geht eine kurze historische Einleitung voraus, aus welcher, der besseren Orientirung wegen, das Wichtigste hier Platz finden mag.

Humphry Davy hat zuerst die Rotation eines beweglichen Leiters um einen Magnetpol beobachtet, nämlich die Rotation des galvanischen Flammenbogens. (Hiernach ist die auf Seite 416 gemachte Mittheilung zu berichtigen, wonach Walcker die erste Notiz von der Rotation des Flammenbogens gegeben habe.) Er beschrieb die Erscheinung in einer am 5. Juli 1821 in der königlichen Gesellschaft zu London gelesenen Abhandlung, ging indeß so kurz über dieselbe weg, daß sie wohl nicht viel Beobachtung gefunden haben würde, wenn nicht Faraday im September desselben Jahres in der Wechselwirkung eines starren Stromleiters und eines Magnetstabes ein viel einfacheres und mannichfacher Abänderungen fähiges Mittel zur Hervorbringung continuirlichen Rotationen des Leiters oder des Magneten kennen gelehrt hätte. Schon im November darauf wurde diese wichtige Entdeckung auf die Fälle ausgedehnt, wo der Magnetstab entweder durch den Erdmagnetismus oder durch einen zweiten starren Stromleiter ersetzt ist. — Im Jahre 1823 zeigt Humphry Davy, daß auch ein flüssiger metallischer Leiter, Quecksilber oder geschmolzenes Zinn, unter gleichen Umständen wie ein starrer in elektromagnetische Drehung versetzt werden kann, eine Thatsache, welche späterhin auch bei nicht metallischen flüssigen Leitern nachgewiesen wurde.

So rasch dieser Kreis von Erscheinungen in experimenteller Hinsicht durchforscht worden ist, so schnell hat er auch in theoretischer Beziehung seine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht voraussehend, hat sie sehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamischen Gesetze zurückgeführt, und wenn auch seine Erklärung nicht vollständig ist, so enthält sie doch die Grundzüge der richtigen Theorie.

Davy stellte seine Versuche zuerst in der Art an, daß er in eine mit Quecksilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer sehr kräftigen Volta'schen Batterie lothrecht hinabgehen ließ, und nun von unten oder oben her einen Magnetpol näherte. — Das Quecksilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengesetzter Richtung.

Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieselben so weit mit Siegellack, daß nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblößt blieben und mit dem Quecksilber in Berührung kamen, von welchem sie nur etwa eine Linie hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Quecksilbers auch ohne Magnet, nur nicht so stark, zum Vorschein, und über den beiden Drahtenden zeigte sich eine Hebung des Quecksilbers von 1 bis 2 Linien, es bildeten sich also zwei Kegel, von deren Gipfel das flüssige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloß. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten diese Kegel bis zum Spiegel des Quecksilbers abgeflacht, ja sogar eine Vertiefung hervorgebracht werden, während die Masse zugleich schneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Ansicht, entspringt die Hebung des Quecksilbers über den Enden der Polardrähte, aus der Repulsion, welche, nach Ampère's Theorie, die Theile eines Stromes in der Richtung seiner selbst, auf einander ausüben.

Die Depression des Quecksilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt sich einfach durch die bei der raschern Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

Um diese Depression auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr Poggendorff folgendermaßen: In ein Uhrglas oder Porcellanschälchen wird etwa eine Unze Quecksilber gegossen und das Gefäß auf eine verticalstehende Drahtrolle gesetzt, die einen Eisenkern umschließt; für diese Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines Uförmigen Elektromagneten in Anwendung bringen, dessen Pole nach oben stehen. — In das flüssige Metall werden nun zwei Drähte von Eisen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Masse, und zwar der letztere so, daß er nur etwa ½ Linie in das Quecksilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvanischen Kette durch die Windungen der Magnetisirungsspirale und dann durch den einen der besprochenen Drähte in das Quecksilber ein-, durch den andern Draht herauszuleiten, so tritt beim Schließen der Kette sogleich eine lebhafte Rotation des Quecksilbers ein.

Im ersten Moment geschieht die Rotation um beide Drähte in entgegengesetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht,

wegen seiner vortheilhaftern Stellung, und nun hat man also nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch diese Rotation erzeugten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Quecksilbers nimmt nun allmälig ab, es steigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem neutralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt.

Bei diesem Vorgang hat man zu bemerken Gelegenheit, daß allemal, wenn das Quecksilber den centralen Draht verläßt, ein Funken erscheint, niemals aber, wenn es wiederum mit ihm in Berührung tritt, was augenscheinlich beweist, daß der so häufig besprochene galvanische Schließungsfunken nicht existirt.

Ferner beobachtete Poggendorff bei dieser Rotation des Quecksilbers noch folgende merkwürdige Erscheinung. Als der centrale Draht so tief eingesenkt war, daß eine Trennung des Quecksilbers von demselben nicht stattfand, dauerte die Rotation des Quecksilbers je nach Umständen 5, 10 oder 15 Minuten unverändert fort. Nach und nach verlangsamt sich aber die Geschwindigkeit, die Theilchen rotiren nicht mehr getrennt, mit ungleicher Geschwindigkeit, wie Anfangs, sondern gleichsam zusammenhängend, wie wenn die Oberfläche des Quecksilbers eine starre Scheibe bildete. Immer träger wird die Rotation dieser Scheibe, und am Ende hört sie ganz auf. Dabei hat der Strom, wie man sich leicht überzeugen kann, nichts von seiner Stärke verloren; ja man kann ihn sogar verstärken, ohne daß sich das Quecksilber wieder in Bewegung setzt. Poggendorff überzeugte sich, daß dies Phänomen seinen Sitz nur an der Oberfläche, nicht in der Masse des Quecksilbers habe, denn wenn man unter gehörig schiefem Winkel auf das Metall blickt, so erkennt man deutlich an einer gewissen Wellenbewegung, daß die Rotation im Innern der Masse unverändert fortdauert. Es ist also klar, daß bloß die Oberfläche des Quecksilbers eine Veränderung erlitten haben mußte.

Für diese Ansicht spricht auch der Umstand, daß unbeweglich gewordenes Quecksilber, in einer Flasche geschüttelt, seine frühere Beweglichkeit wieder erhält.

Um zu untersuchen, ob auch wässerige Flüssigkeiten eine ähnliche Verfestigung ihrer Oberfläche erleiden, bediente sich Poggendorff eines dem frühern ähnlichen Apparates, nur daß die beiden Poldrähte durch zwei winkelförmige Metallstreifen ersetzt wurden, deren horizontale Schenkel ringförmig gekrümmt waren. Der eine dieser Ringe schloß dicht an den Rand des etwa 2 Zoll im Durchmesser haltenden Schälchens, der

andere stand in der Mitte desselben und hatte ungefähr 3 Linien im Durchmesser. Bei Verbindung der lothrechten Schenkel mit der Batterie ging der Strom durch die Flüssigkeit radialiter, entweder vom kleineren zum größeren Ringe, oder umgekehrt. Ein Versuch wurde mit verdünnter Schwefelsäure und Ringen von amalgamirtem Zink, ein anderer mit Kupfervitriol-Lösung und Ringen von Kupfer angestellt.

Beide Flüssigkeiten nahmen schon mit Hülfe des Stromes eines einzigen Grove'schen Bechers eine lebhafte Rotation an, welche durch aufgestreutes Lycopodium deutlich zu erkennen war. Nach 24 Stunden hatte die Rotationsfähigkeit der Oberfläche noch nichts an ihrer Stärke verloren.

Um von dem rotirenden Quecksilber die Luft abzuhalten, übergoß Poggendorff dasselbe einige Linien hoch successiv mit Mandelöl, Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff, Aether, Alkohol und destillirtem Wasser. Unter diesen entweder gar nicht oder doch nur sehr schlecht leidenden Flüssigkeiten kam die Oberfläche des Quecksilbers nicht zur Rotation; wurden aber dem Wasser einige Tropfen Säure oder etwas Salz zugesetzt, so stellte sich sogleich die Rotation des Quecksilbers ein, während auch die wässerige Flüssigkeit rotirte.

Um den Einfluß von Dämpfen auf die Rotation des Quecksilbers zu untersuchen, wurden die Zuleitungsdrähte durch Oeffnungen in der Seitenwand des Schälchens eingeführt und durch Korke festgehalten. Ein Stück Fließpapier mit der erforderlichen Flüssigkeit benetzt, wurde über den Rand des Gefäßes ausgebreitet und mit einer Glasplatte bedeckt. Auf diese Weise konnte die Luft über dem Quecksilber mit verschiedenen Gasen und Dämpfen geschwängert werden.

Terpentinöl-, Alkohol- und Schwefelkohlenstoffdämpfe gaben keine entschiedene Wirkung; dagegen hatte Ammoniakgas eine so zu sagen tödtende Wirkung auf die Quecksilberoberfläche, indem dieselbe viel schneller als in Luft allein zur Ruhe kam, ohne daß jedoch der Glanz der Quecksilberoberfläche abgenommen hätte.

Noch schneller wirkte Schwefeläther; nur wenige Augenblicke brauchte das mit Aether benetzte Papier die Schale zu überdecken, um eine vollständige Tödtung der Quecksilberoberfläche zu veranlassen, wobei diese übrigens spiegelblank blieb.

Als ein Stück Phosphor in der Schale aufgehängt wurde, füllte sie sich bald mit dem bekannten Nebel, der sich senkte und der Quecksilberoberfläche schnell ihre Beweglichkeit raubte.

In entgegengesetzter Weise wirken die Dämpfe flüchtiger Säuren, wie Essigsäure, Salzsäure, Salpetersäure. Ueber einer an der Luft, in Ammoniakgas oder Aetherdampf unbeweglich gewordenen Quecksilber-

fläche braucht nur wenige Augenblicke ein mit solcher Säure benetztes Papier ausgebreitet zu werden, um ihr die ursprüngliche Beweglichkeit wieder zu geben. Es ist dies um so auffallender, als in dem Dampf der Salpetersäure und auch der Salzsäure die Quecksilberoberfläche nicht blank bleibt, sondern anläuft. Aetherdampf vernichtet die nun eingetretene Lebendigkeit nicht, wohl aber Ammoniakgas.

Wasserdampf hat keine Wirkung. Ebenso ist eine Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit oder eine Austrocknung derselben durch concentrirte Schwefelsäure ohne allen Einfluß.

Der Apparat wurde nun so eingerichtet, daß die über dem Quecksilber befindliche Luft ausgepumpt und durch verschiedene Gase ersetzt werden konnte.

Kohlensäure und Wasserstoffgas zeigten sich indifferent. Sauerstoffgas wirkte etwas schneller tödtend als atmosphärische Luft. In dem Vacuum, welches eine Handluftpumpe zu liefern im Stande ist, behielt die Quecksilberfläche mehr als 12 Stunden lang ihre volle Beweglichkeit. Eine unbeweglich gewordene Quecksilberoberfläche wird im Vacuum nicht wieder beweglich.

Poggendorff ist der Meinung, daß eine sehr dünne, für das Auge unwahrnehmbare Oxyd- oder Oxydulschicht als Ursache der relativen Unbeweglichkeit der Oberfläche anzusehen sey.

Siebenter Abschnitt.

Elektrodynamik.

Magnetisches Moment eines Kreisstromes. Das Moment eines Kreisstromes ist, wie wir auf S. 243 gesehen haben, 243

$$G = \pi r^2 g,$$

wenn g die Stromstärke nach der Weber'schen Stromeinheit bezeichnet; nach unserer Stromeinheit haben wir

$$G = \pi r^2 s \;.\; 1{,}0477,$$

wenn s die Stromstärke nach chemischem Maaß bezeichnet. Um die Kraft zu erhalten, mit welcher der Erdmagnetismus diesen Kreisstrom zu drehen strebt, wenn seine Ebene in dem magnetischen Meridian fällt, haben wir G noch mit dem horizontalen Theil des Erdmagnetismus, also mit T zu multipliciren, wir erhalten also für diesen Drehungsmoment

$$T\pi r^2 s \;.\; 1{,}0477.$$

Hier ist aber für G und T noch das Weber'sche absolute Maaß als Einheit angenommen, soll dieses Drehungsmoment auf die Schwerkraft reducirt werden, so haben wir obigen Werth noch mit 9808 zu dividiren, und so kommt

$$D = \frac{T\pi r^2 s \;.\; 1{,}0477}{9808} = 0{,}0003432\, T r^2 s.$$

Dieser Werth von D giebt in Milligrammen die an einem Hebelarm von 1^{mm} wirkende Kraft an, mit welcher der Erdmagnetismus einen Kreisstrom von der Stromstärke s (nach chem. Maaß) zu drehen strebt, dessen Radius r ist, wenn T den in absolutem Maaß ausgedrückten Werth des horizontalen Theiles der magnetischen Erdkraft bezeichnet.

Nehmen wir z. B. an, durch 100 Windungen eines übersponnenen Kupferdrahtes sey ein leicht um eine verticale Axe drehbarer Ring gebildet, dessen Halbmesser im Mittel gleich 100^{mm} ist; der Strom, welcher diese

Drahtwindungen durchläuft, habe nach chemischem Maaß die Stärke 10, so ergiebt sich für jede Windung $D = 75{,}5^{mg}$ $(T = 2{,}2)$, für alle zusammen also ist

$$D = 7550^{mg}$$

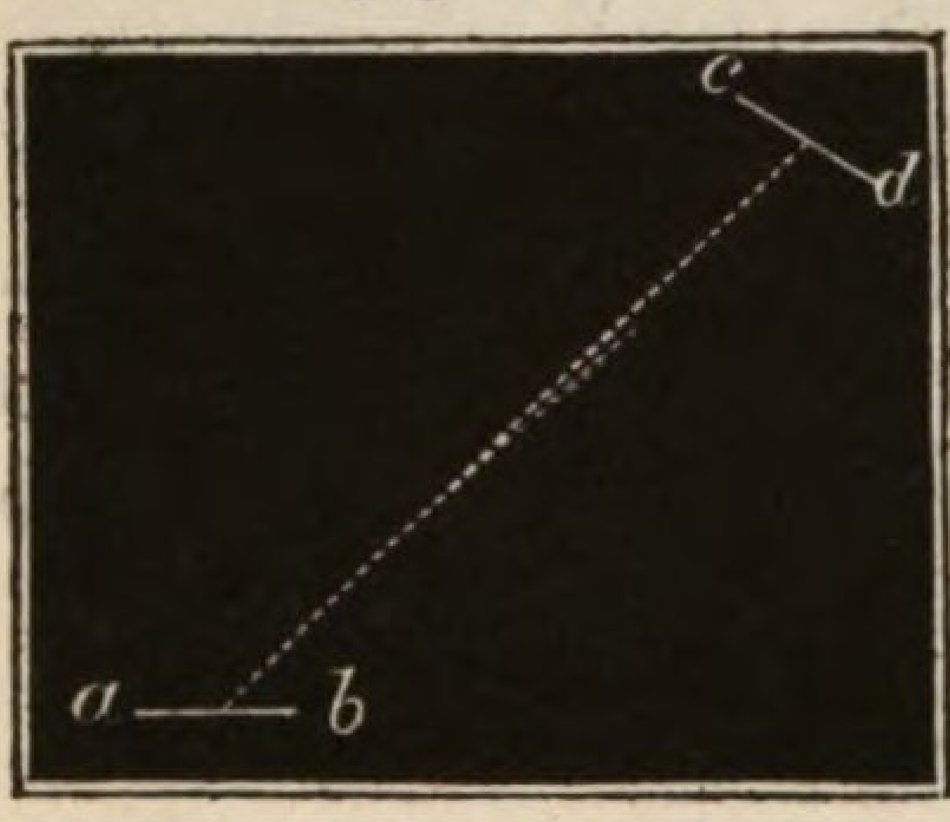
Der Erdmagnetismus strebt also, den Ring, wenn er auf die fragliche Weise durchströmt ist und seine Ebene in dem magnetischen Meridian fällt mit einer am Hebelarm 1^{mm} angreifenden Kraft von 7550 Milligramm, oder, was dasselbe ist, mit einem am Umfang des Ringes wirkenden Kraft von 75,5 Milligramm zu drehen.

244 **Weber's elektrodynamische Maaßbestimmungen.** Das Gesetz, nach welchem die Theilchen ab und cd zweier Stromleiter auf einander wirken, ist nach Ampère durch die Gleichung

$$-\frac{i\,i'}{r^2}\,(\cos.\,\varepsilon - {}^3\!/_2 \cos.\,\Theta \cos.\,\Theta')\,s\,s'$$

ausgedrückt, d. h. diese Gleichung drückt die Größe der Kraft aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgesetzt, daß r die Entfernung dieser Mittelpunkte, i die Stromstärke in dem einen, i' die im anderen Stromelemente, s aber die Länge des einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es ist ferner ε der Winkel, welchen cd mit ab macht, Θ der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht.

Fig. 231.



Ampère hat seine Theorie aus verhältnißmäßig sehr mangelhaften Versuchen abgeleitet; oft hat er auf negative Resultate gebaut und alle seine Versuche sind nur qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Messungen waren seine Apparate freilich nicht brauchbar.

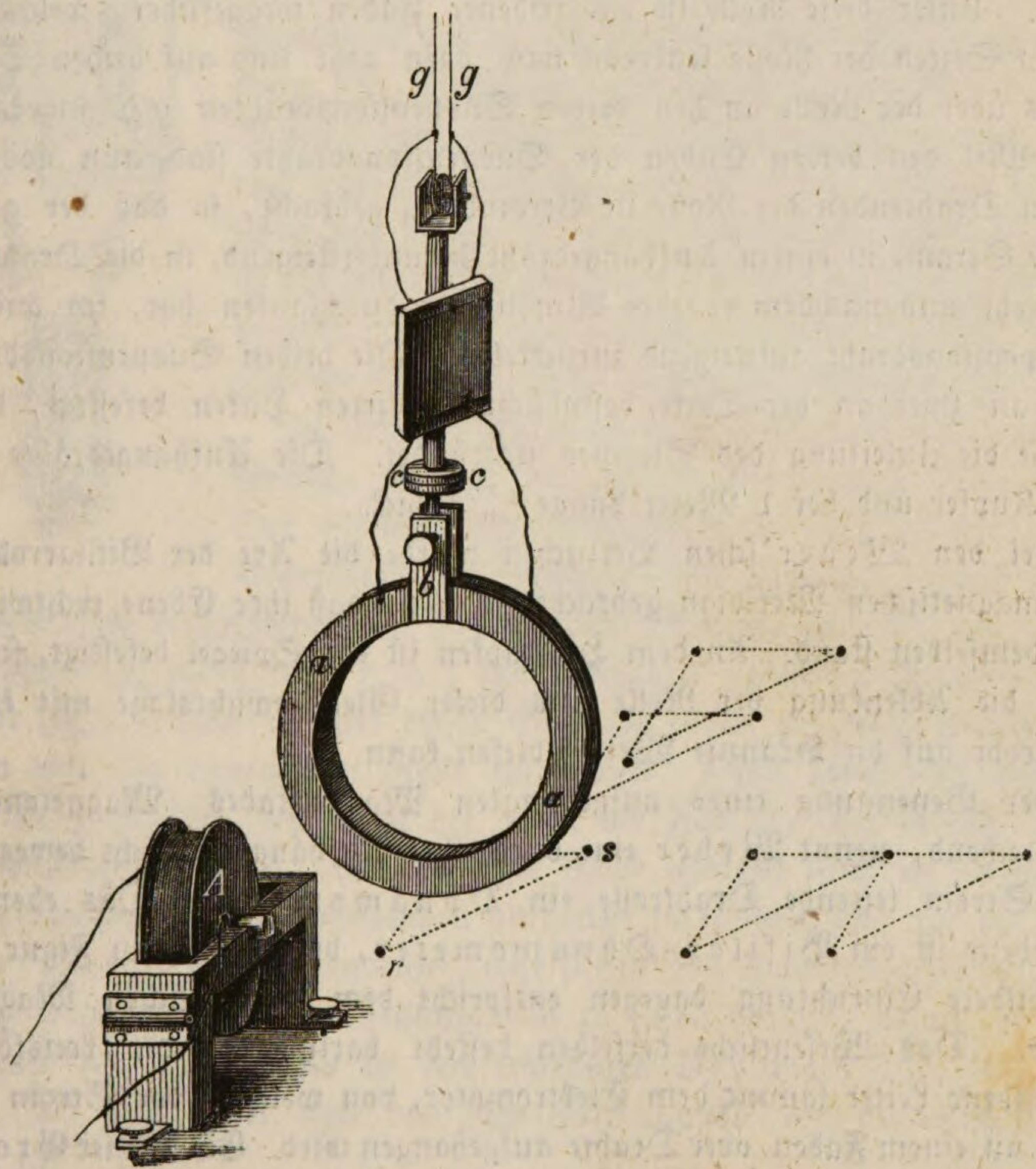
Seit Ampère ist zur experimentellen Begründung und Fortbildung nichts weiter gethan worden, bis W. Weber den Gegenstand wieder aufnahm und durch seine ausgezeichneten Arbeiten eine merkliche Lücke in der Wissenschaft ausfüllte.

W. Weber's elektrodynamische Maaßbestimmungen finden sich ausführlich in den von der Jablonowskischen Gesellschaft bei Begründung der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften herausgegebenen Abhandlungen (Leipzig 1846); kürzer in Poggendorff's Annalen, Bd. LXXIII, S. 193.

Der Hauptgrund, weshalb sich die Ampère'schen Apparate nicht zu Messungen überhaupt, am wenigsten aber nicht zu feineren Messungen eignen, liegt darin, daß die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter zu überwinden hat, viel zu bedeutend ist. Weber hat diese Schwierigkeit dadurch umgangen, daß er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvanischen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer solchen Bifilarrolle sieht man in Fig. 232 abgebildet. Die Bifilarrolle *a* besteht aus einem dünnen

Fig. 232.



Messingringe von 100^{mm} Durchmesser und 30^{mm} Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123^{mm} äußerem und 100^{mm} innerem Durchmesser verbindet, und in 30^{mm} Abstand von einander hält. Auf jenem Messingring zwischen den beiden Scheiben ist ein Kupferdraht von $\frac{1}{3}$^{mm} Durchmesser, der mit Seide übersponnen ist, ungefähr 3000 mal herum-

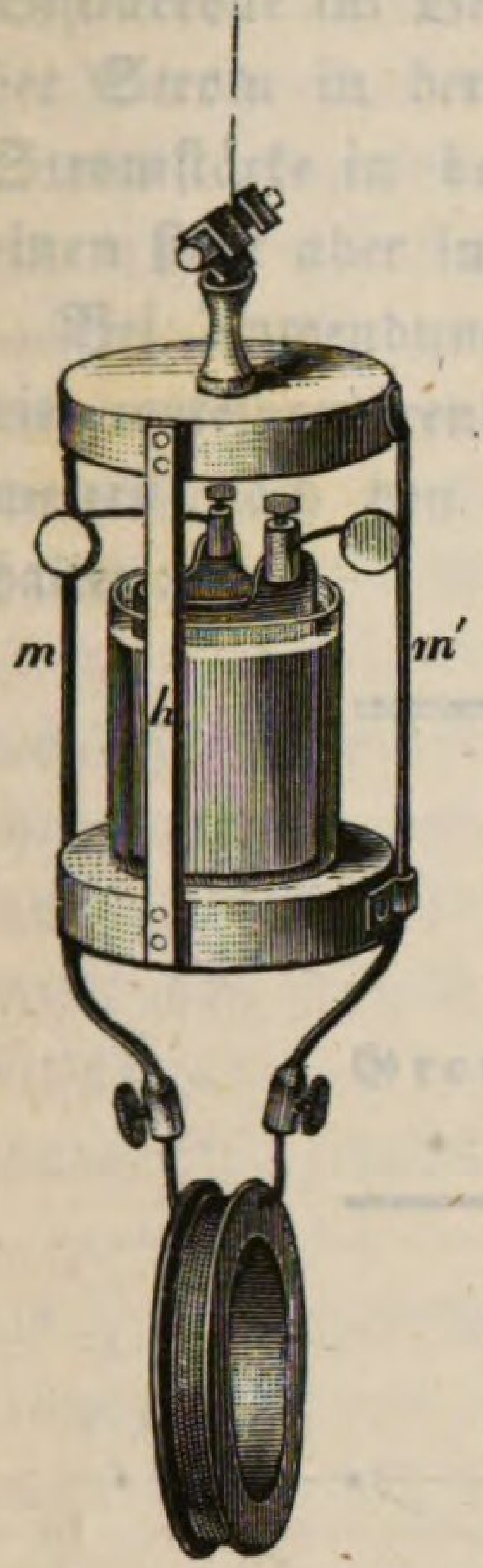
gewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Messingscheiben durch eine messingene Klemme *b* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *c* trägt. Er besteht aus zwei (bei verticaler Stellung der Bifilarrolle) horizontalen Scheiben, von denen die untere mit der Bifilarrolle fest verbunden ist, während die obere sich um eine verticale Axe drehen läßt. Der Torsionskreis dient dazu, die Bifilarrolle beliebig drehen und in die erforderliche Stellung bringen zu können, ohne die Aufhängedrähte aus ihrer parallelen Lage zu bringen. Die obere Scheibe des Torsionskreises trägt einen hölzernen Zapfen, welcher am oberen Ende eine Gabel mit einer sehr beweglichen 20^{mm} Durchmesser haltenden Rolle trägt. Unter diese Rolle ist ein seidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle senkrecht nach oben geht und auf beiden Seiten etwas über der Rolle an den beiden Suspensionsdrähten *g g* angeknüpft ist. Mit den beiden Enden der Suspensionsdrähte sind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, so daß der galvanische Strom, in einem Aufhängedraht heruntersteigend, in die Drahtrolle übergeht und nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, im anderen Suspensionsdraht aufsteigend zurückkehrt. Die beiden Suspensionsdrähte sind an zwei an der Decke befindlichen isolirten Haken befestigt, durch welche die Zuleitung des Stromes stattfindet. Die Aufhängedrähte sind von Kupfer und bei 1 Meter Länge $1/6^{mm}$ dick.

Bei den Weber'schen Versuchen wurde die Axe der Bifilarrolle in den magnetischen Meridian gebracht, so also, daß ihre Ebene rechtwinklig auf demselben stand. An dem Holzzapfen ist ein Spiegel befestigt, so daß man die Ablenkung der Rolle aus dieser Gleichgewichtslage mit einem Fernrohr auf die bekannte Weise ablesen kann.

Der Benennung eines aufgehängten Magnetstabes (Magnetometer) entsprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer. Das eben beschriebene ist ein Bifilar-Dynamometer, die folgende in Figur 233 abgebildete Einrichtung dagegen entspricht dem gewöhnlichen Magnetometer. Das Wesentliche derselben besteht darin, daß der kreisförmig gewundene Leiter sammt dem Elektromotor, von welchem der Strom ausgeht, an einem Faden oder Drahte aufgehangen wird. Ein kleiner Grove'scher Becher steht zwischen zwei Holzplatten, welche durch zwei Messingstäbchen *m m'* und einem Holzstab *h* mit einander verbunden sind; die dem Stab *h* gegenüber liegende Seite bleibt frei, damit man den Becher bequem einstellen kann. In eine Verstärkung der Stäbchen *m* und *m'* sind die zum positiven und negativen Pol führenden Drahtstücke eingeschraubt. Die Verlängerungen von *m* und *m'* tragen die Drahtrolle.

Diese Vorrichtungen lassen sich gewiß durch geeignete Abänderungen auch in solche Formen bringen, die zwar weniger zu feinen Messungen geeignet sind, aber sehr gut zu Vorlesungsversuchen statt des Ampère'schen Apparates dienen können.

Fig. 233



Wenn ein galvanischer Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, so wird es aus seiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, sobald man ihm einen Magnetstab oder auch eine zweite galvanisch durchströmte Drahtrolle nähert.

Die feste Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, ist gleichfalls in Fig. 232 abgebildet. Sie besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 89 Millimeter Durchmesser, welche von einer $5\frac{1}{2}$ Millimeter dicken messingenen Axe in 30^{mm} Abstand von einander festgehalten werden; diese Axe ragt auf beiden Seiten um 10^{mm} vor. Auf dem zwischen den beiden Scheiden befindlichen Theil der Axe ist ein mit Seide übersponnener $\frac{1}{3}^{mm}$ dicker Kupferdraht ungefähr 1000 mal herumgewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur festen Aufstellung dieser Rolle dient ein hölzernes Gestell, welches auf Füßen mit Stellschrauben steht. Der vordere Fuß dieses Gestelles kann mittelst eines Charnieres aufgeschlagen und dann die feste Rolle in die bewegliche eingeschoben und so aufgestellt worden, daß die drei Stellschrauben auf die Punkte *r*, *s*, *t* der Tischplatte zu stehen kommen (*t* ist in der Figur verdeckt). Bei dieser Stellung fallen die Mittelpunkte der festen und der beweglichen Rolle zusammen. Man kann aber auch die feste Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall ist) oder südlich, östlich oder westlich aufstellen. Um die feste Rolle jederzeit leicht in bestimmten Entfernungen von der beweglichen aufstellen zu können, sind auf der Tischplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellschrauben zu setzen braucht, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 Millimeter weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt ist.

Eine erste Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der festen Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zusammenfallen. Ein und derselbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feste Rolle hindurch geleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemessen, welche die feste Rolle an einem nördlich oder südlich

angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Versuchs ist aus Fig. 235 ersichtlich. *b b* ist die Bifilarrolle, *f f* die feste Rolle und *m* das

Fig. 234.

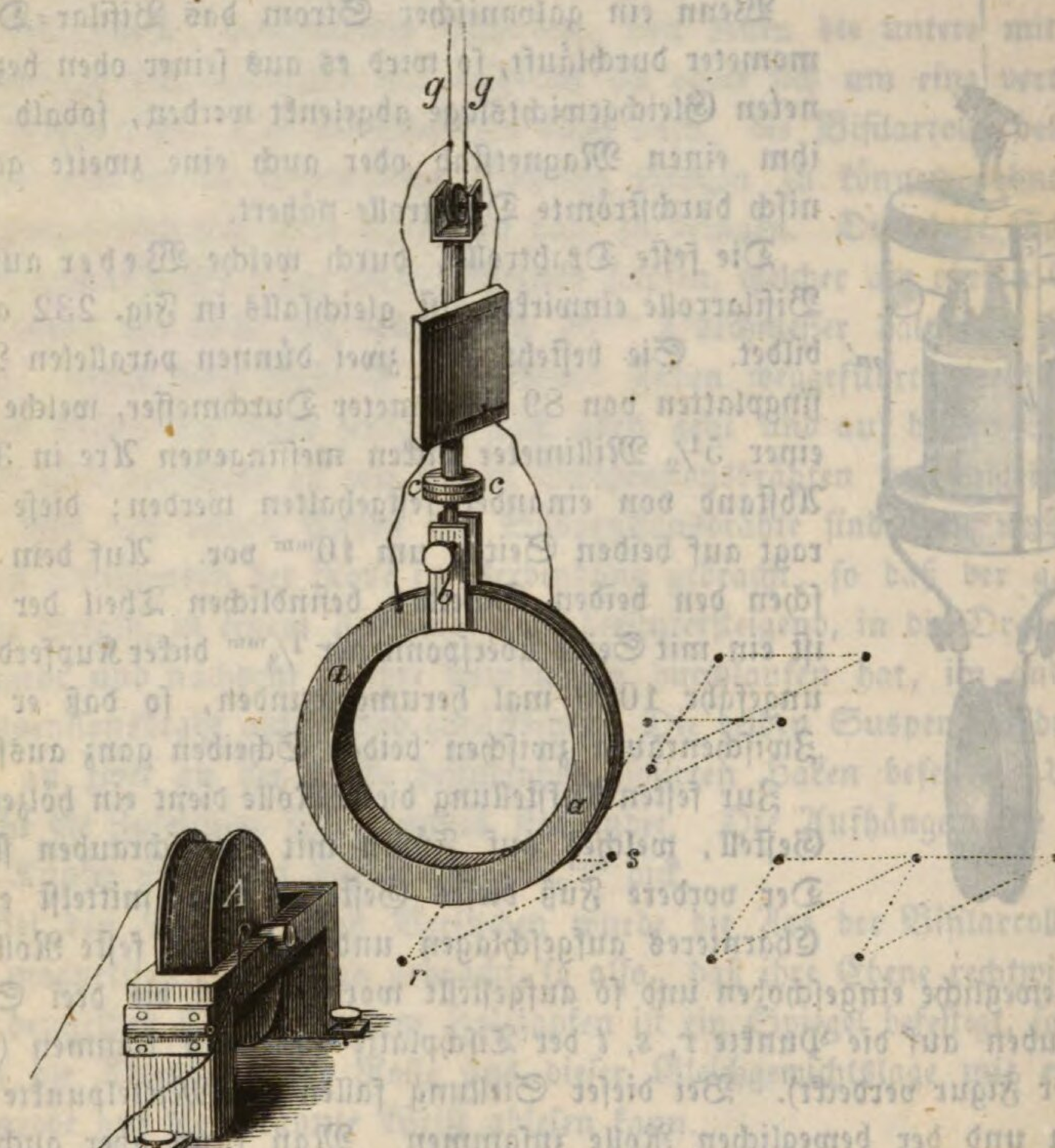
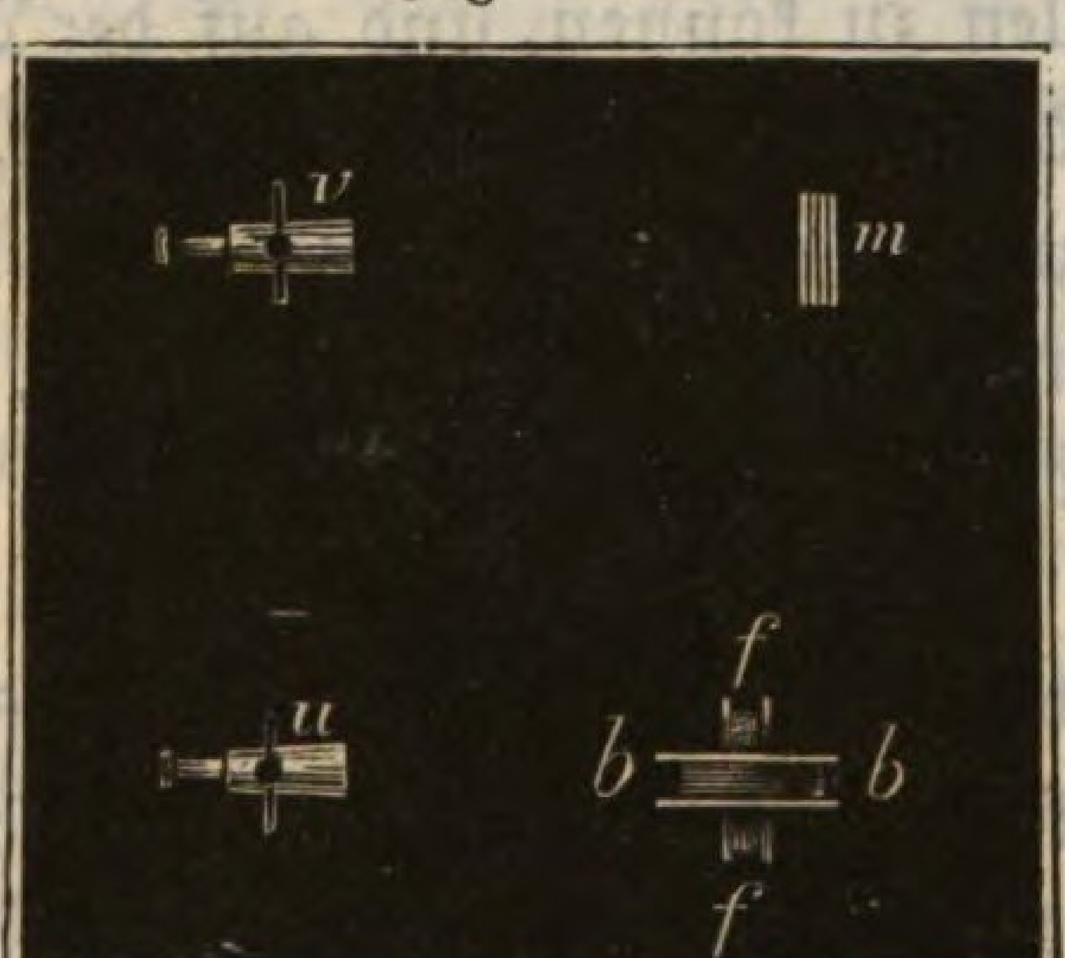


Fig. 235.



Magnetometer, während bei *u* und *v* Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von *b* und *m* aufgestellt sind.

Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'schen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, so wird die Ablenkung der Bifilarrolle so groß, daß sie weit über die Gränzen der Beobachtungsskale hinausgeht, während der Strom der festen Rolle an dem Magnetometer eine

für die Messung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, brachte Weber an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenschließung an, durch welche die Stromstärke in der Bifilarrolle im Verhältniß von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der festen Rolle unverändert bleibt. Freilich ist jetzt die Stromstärke in beiden Rollen nicht mehr dieselbe, die Stromstärke der einen steht aber in einem constanten Verhältniß zu der in der anderen

Bei Anwendung von 1, 2 und 3 Grove'schen Bechern wurden für die correspondirenden Ablenkungen der Bifilarrolle und des Magnetometers nach den erforderlichen Reductionen folgende Mittelwerthe erhalten:

Zahl der Grove'schen Becher.	Ablenkungen	
	des Magnetometers.	des Dynamometers.
3	108,43	440,04
2	72,40	198,25
1	36,33	50,91

Bezeichnet man die Ablenkungen der Bifilarrolle mit δ, die des Magnetometers mit γ, so ergiebt sich

$$\gamma = 5{,}15534 \sqrt{\delta},$$

denn berechnet man nach dieser Formel die Werthe von γ aus den beobachteten Werthen von δ, so erhält man der Reihe nach

108,14
72,59
36,77,

was mit den beobachteten Werthen so nahe zusammenfällt, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen:

Daraus folgt nun, daß die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgesetzt ist.

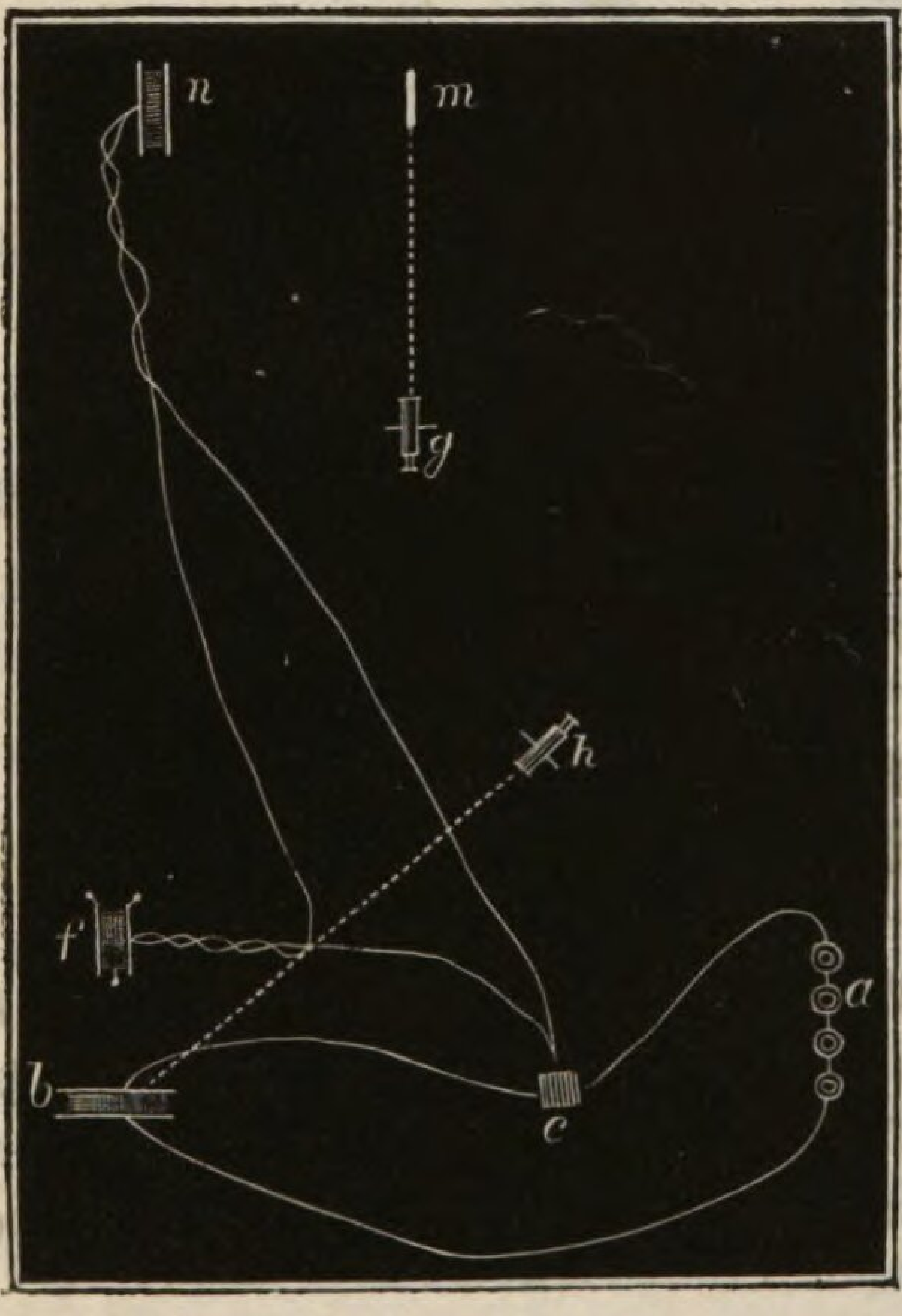
Hierauf folgte nun eine größere Versuchsreihe, um zu erforschen, auf welche Weise die elektrodynamische Kraft, mit welcher die beiden Rollen

auf einander wirken, von ihrer gegenseitigen Lage und Entfernung abhängt.

Zu diesem Zweck wurde die feste Rolle der Reihe nach nördlich, östlich, südlich und westlich von der Bifilarrolle aufgestellt, wie dies schon oben auseinandergesetzt worden ist. Dieses System der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entspricht, wie man leicht sieht, genau dem System der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Magnete, welche Gauß seinen Messungen zu Grunde gelegt hat, um das Grundprincip des Magnetismus zu erweisen. Der bifilar aufgehangene Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feste Rolle die Stelle des Ablenkungsstabes.

Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muß aber auch die Stromstärke gemessen werden. Auf die bei der vorigen Versuchsreihe angewandte Weise kann dies hier nicht geschehen, weil die Stellung der festen Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich fest stehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemessen, welche diese an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung ist aus Fig. 236 zu ersehen.

Fig. 236.



b ist die Bifilarrolle, *f* die feste Rolle, *m* ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von *b* entfernt ist, *n* eine dritte, gleichfalls fest aufgestellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvanischen Säule *a* zur Bifilarrolle, von dieser zum Commutator *c*, dann über die Rolle *f* zur Rolle *n*, von dieser zurück zum Commutator und von diesem endlich zum anderen Pol der Säule.

Durch den Commutator kann also die Stromrichtung in *f* und *n* geändert werden, während sie in der Bifilarrolle *b* stets dieselbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenseitigen Lage und Entfernung der beiden

Drahtrollen f und b die Stellung von m und b für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in f und n mittelst des Commutators umgekehrt und nochmals die Stellung von b und m abgelesen. Die Differenz der beiden Ablesungen am Magnetometer ist dann das Maaß für die Stromstärke, die Differenz der beiden Ablenkungen am Dynamometer geben ein Maaß für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen b und f auf einander wirken.

Da wir nun wissen, daß die elektrodynamische Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromstärke proportional sind, so ist man, vermöge der am Magnetometer gemachten Messungen der Stromstärke, im Stande, die gemessenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

Die folgende Tabelle giebt nun in kurzer Uebersicht die so reducirten Mittelwerthe, welche für die verschiedenen Lagen und Entfernungen erhalten werden. In der ersten Verticalreihe steht die Entfernung der Mittelpunkte von b und f; die folgenden Columnen enthalten die entsprechenden Ablenkungen der Bifilarrolle unter den in der Ueberschrift angegebenen Lagen, und zwar für gleiche Stromstärke.

Abstand in Millimetern.	Nördlich.	Oestlich.	Südlich.	Westlich.
300	77,16	189,14	77,06	190,62
400	34,78	77,61	34,77	77,28
500	18,17	39,37	18,30	39,16
600	—	22,53	—	22,38

Man sieht zunächst aus dieser Tabelle, daß die für gleiche Entfernung in entgegengesetzten, um 180° verschiedenen Richtungen enthaltenen Resultate so weit übereinstimmen, als die Beobachtungen verbürgt werden können.

Setzt man für diese sehr nahe gleichen Werthe ihr Mittel, so erhält man nach Verwandlung der Scalentheile in Grade, Minuten und Secunden folgende Tafel:

r	v	v'
0,3	0° 49′ 22″	0° 20′ 3″
0,4	0 20 8	0 9 2
0,5	0 10 12	0 4 44
0,6	0 5 50	

worin dieselbe Bezeichnung gebraucht ist, deren sich Gauß in der Intensitas vis magneticae (Pogg. Ann. 1833. Bd. 28, S. 604; mein Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Bd., S. 38) bei der Zusammenstellung der magnetischen Beobachtungen bedient hat. Was die Elemente betrifft, deren Kenntniß zur Ausführung dieser Reduction nöthig sind, so muß ich auf die Originalabhandlung verweisen.

Nach dem Grundprincip der Elektrodynamik sollen sich nun hier wie dort die Tangenten der Ablenkungswinkel v und v' nach den fallenden ungeraden Potenzen von r entwickeln lassen, und zwar soll

$$tang.\, v = \frac{a}{r^3} + \frac{b}{r^5}$$

$$tang.\, v' = \frac{a}{2r^3} + \frac{c}{r^5}$$

gesetzt werden können, wo a, b und c aus den Beobachtungen zu bestimmende Constanten sind. Setzt man in unserem Falle

$$tang.\, v = \frac{0{,}0003572}{r^3} + \frac{0{,}000002755}{r^5}$$

$$tang.\, v' = \frac{0{,}0001786}{r^3} + \frac{0{,}000001886}{r^5},$$

so ergiebt sich folgende Tafel berechneter Ablenkungen und deren Unterschiede von den beobachteten

r	v	Unterschied.	v'	Unterschied.
0,3	0° 49′ 22″	0″	0° 20′ 4″	− 1″
0,4	0 20 7	+ 1	0 8 58	+ 4
0,5	0 10 8	+ 4	0 4 42	+ 2
0,6	0 5 49	+ 1	—	—

In dieser Uebereinstimmung der berechneten Werthe mit den beobachteten findet sich also eine der allgemeinsten und wichtigsten Consequenzen des Grundprincips der Elektrodynamik bestätigt, daß nämlich für die elektrodynamischen Wirkungen in die Ferne gleiche Gesetze gelten wie für die magnetischen.

Bei dieser Uebertragung der magnetischen Gesetze auf die elektrodynamischen Beobachtungen, werden die Werthe dreier Constanten aus den Beobachtungen selbst abgeleitet, was nicht nöthig ist, wenn man auf das Grundprincip der Elektrodynamik selbst zurückgeht und daraus unmittelbar berechnet, welche Resultate demnach die Beobachtungen hätten geben sollen.

Von der Ausführung dieser Rechnung selbst müssen wir hier abstrahiren, weil sie mehr mathematische Hülfsmittel erfordert, als für den Standpunkt dieses Werkes zulässig sind; ich muß in dieser Beziehung wieder auf die Originalabhandlung verweisen, wo gezeigt ist, daß die beobachteten Ablenkungen mit den direct aus dem Ampère'schen Gesetz abgeleiteten so weit übereinstimmen, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen.

Bestimmung der Dauer momentaner Ströme mit dem Dynamometer. Weber hat von seinem Dynamometer eine sehr sinnreiche Anwendung gemacht, um die Dauer momentaner Ströme zu ermitteln. — Wenn die Stärke eines fortdauernden constanten Stromes bestimmt werden soll, so kann man sich dazu sowohl eines Galvanometers, also eines Instrumentes bedienen, in welchem durch den Strom eine Magnetnadel oder ein Magnetstab abgelenkt wird, oder auch des Dynamometers, bei welchem der Magnetstab durch eine bewegliche Drahtrolle ersetzt ist. Ist aber der Strom, dessen Stärke bestimmt werden soll, bloß von momentaner Dauer, so reicht die Beobachtung eines dieser beiden Instrumente nicht hin, weil die beobachtete Ablenkung nicht bloß von der Stromstärke, sondern auch von der Dauer des Stromes abhängt. In einem solchen Falle ist es also, um die Stromstärke kennen zu lernen, nothwendig, auch die Dauer des Stromes zu ermitteln. 245

Die beiden Instrumente, nämlich das Galvanometer (in unserm Falle ein Magnetometer) und das Dynamometer, ergänzen nun einander so, daß, wenn derselbe momentane Strom gleichzeitig durch beide hindurch geht, aus der beobachteten Ablenkung beider Instrumente sowohl die Stärke, als auch die Dauer des momentanen Stromes bestimmt werden kann. Diese wechselseitige Ergänzung gründet sich darauf, daß die beobachtete Ablenkung beider Instrumente von der Dauer des momentanen Stromes in gleicher Weise abhängt, nämlich derselben proportional ist, während die Ablenkung des Galvanometers der Stromstärke, die Ablenkung des Dynamometers aber (vorausgesetzt, daß derselbe Strom gleichzeitig durch die feste und die bewegliche Rolle geht) dem Quadrat der Stromstärke proportional ist.

Bezeichnet e die Ablenkung, welche am Galvanometer durch einen Strom von der Stärke i hervorgebracht wird, welcher während des kleinen Zeittheilchens t wirkte, so ist

$$e = nit \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

während die durch denselben Strom am Dynamometer hervorgebrachte Ablenkung

$$\varepsilon = o i^2 t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

ist, wo n und o constante Factoren sind.

Dividirt man mit der Gleichung 2) in die aufs Quadrat erhobene Gleichung 1), so ergiebt sich

$$t = \frac{o e^2}{n^2 \varepsilon},$$

es handelt sich also nur noch darum, die constanten Factoren o und n gehörig zu ermitteln, um auf diesem Wege die Zeitdauer momentaner Ströme bestimmen zu können. Zu diesem Zweck müssen wir aber etwas weiter ausholen.

Die Geschwindigkeit, welche dem Magnetometer durch einen Strom von der Stärke i während des Zeittheilchens t (welches sehr klein ist gegen die Dauer einer Oscillation des Magnetometers) mitgetheilt wird, ist

$$\frac{am}{p} it,$$

wenn a einen constanten Factor, m das magnetische Moment des Magnetstabes und p sein Trägheitsmoment bezeichnet Ebenso ist die Geschwindigkeit, welche derselbe Strom während derselben kurzen Zeit der Bifilarrolle mittheilt,

$$\frac{b}{q} i^2 t,$$

wenn b ebenfalls einen constanten Factor und q das Trägheitsmoment der Bifilarrolle bezeichnet.

Diese Geschwindigkeit, mit welcher die beiden Instrumente aus ihrer Gleichgewichtslage herausgetrieben werden, läßt sich aber auch noch aus der beobachteten Elongation und der (für den Fall, daß kein Strom auf sie einwirkt und keine Dämpfung stattfindet) beobachteten Schwingungsdauer derselben berechnen; sie ist nämlich für das Magnetometer

$$\frac{e \pi}{s},$$

für das Dynamometer

$$\frac{\varepsilon \pi}{\sigma},$$

wenn e und ε die frühere Bedeutung haben und s die Schwingungsdauer des Magnetometers, σ die der Bifilarrolle bezeichnet. π ist die Ludolf'sche Zahl 3,14*).

*) Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Pendel seine Gleichgewichtslage passirt, um zur Höhe h anzusteigen, ist bekanntlich

$$v = \sqrt{2gh} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a)$$

Daraus ergeben sich denn folgende Gleichungen

$$\frac{am}{p} it = \frac{e\pi}{s}$$

und

$$\frac{b}{q} i^2 t = \frac{\varepsilon\pi}{\sigma}$$

und durch Combination beider

$$t = \frac{\pi b p^2 \sigma}{a^2 m^2 q s^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon}$$

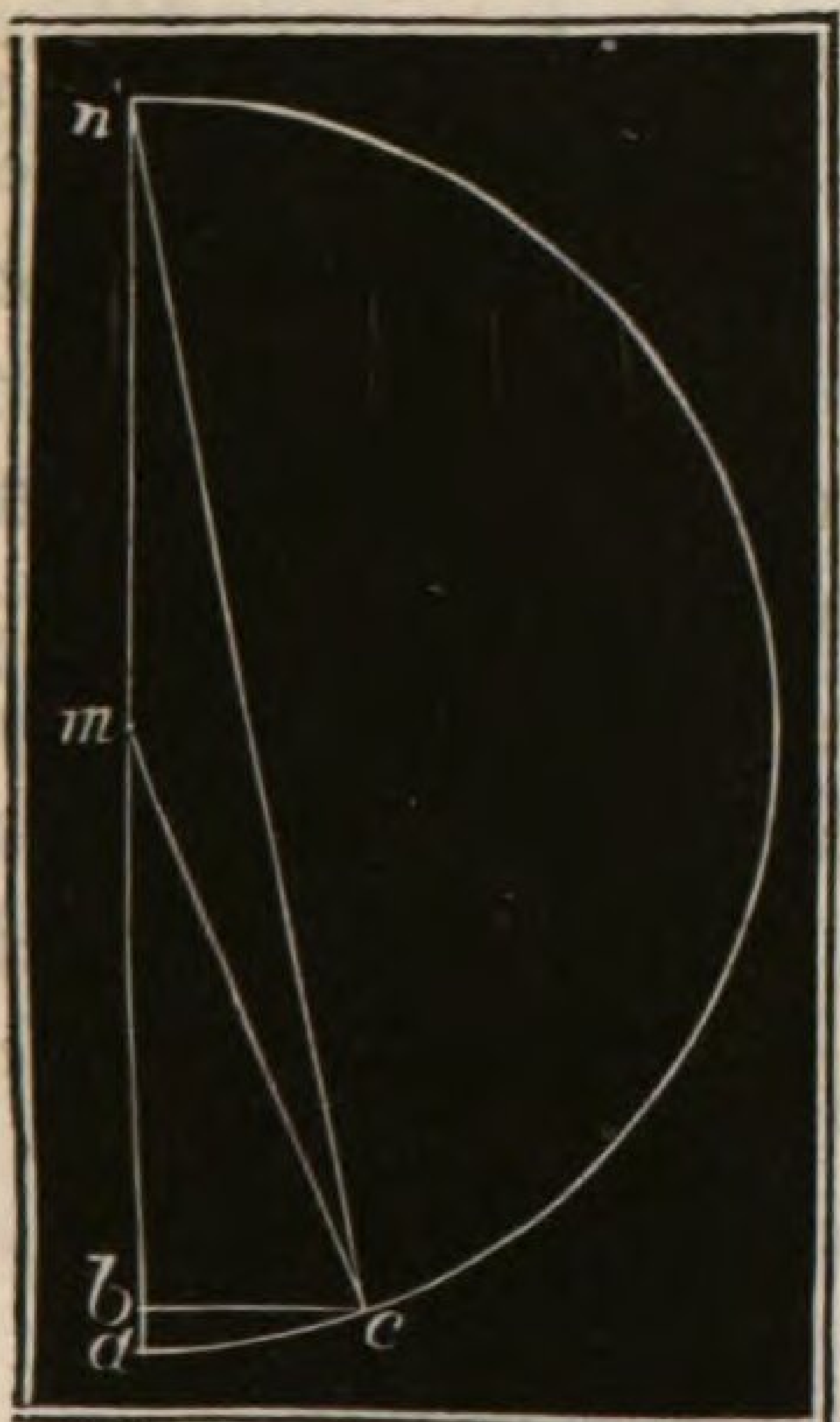
und

$$= \frac{am}{b} \cdot \frac{q}{p} \cdot \frac{s}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon}{e} \cdot$$

Um die Constanten a und b wegzuschaffen, muß nun noch eine weitere Beobachtung gemacht werden; man muß nämlich die Ablenkungen e' und ε' beobachten, in welchen beide Instrumente verharren, wenn durch beide derselbe constante Strom von der Stärke 1 geht. Der Werth von e' muß nun gleich seyn dem Quotienten, welchen man erhält, wenn man die ablenkende Kraft am durch die Directionskraft des Magnetometers dividirt. Diese Directionskraft ergiebt sich aber aus der beobachteten Schwingungszeit s und dem Trägheitsmoment p, sie ist $\frac{\pi^2 p}{s^2}$, mithin haben wir die Gleichung:

In Fig. 237 sey nun m der Mittelpunkt der Schwingung, ab die Steighöhe, h und ac die Elongation e, so ist bekanntlich ac die mittlere proportionale zwischen ab und an, oder es ist

Fig. 237.



$$h : e = e : 2l$$

wenn l die Pendellänge bezeichnet, und daraus

$$h = \frac{e^2}{2l};$$

setzen wir in die Gleichung a) diesen Werth von h, so kommt

$$v = \sqrt{\frac{g e^2}{l}};$$

nun aber ist bekanntlich $g = \frac{\pi^2 l}{s^2}$, wenn s die Schwingungsdauer des Pendels bezeichnet und folglich

$$v = \sqrt{\frac{\pi^2 l}{s^2} \cdot \frac{e^2}{l}} = \frac{\pi e}{s}$$

Diese für das Pendel abgeleitete Beziehung können wir aber ohne Weiteres auf unsern Fall übertragen.

$$e' = am \frac{s^2}{\pi^2 p'},$$

ebenso ergiebt sich

$$\varepsilon' = \frac{b\sigma^2}{\pi^2 q}.$$

Substituirt man nun die aus diesen beiden Gleichungen für a und b gezogenen Werthe im obigen Werth von t und i, so kommt

$$t = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{s^2}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon'}{e'^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon'}$$

$$i = \frac{\sigma}{s} \cdot \frac{e'}{\varepsilon'} \cdot \frac{\varepsilon'}{e}.$$

246 **Wiederholung des Ampère'schen Fundamentalversuchs mit Reibungselektricität, und Messung der Dauer des elektrischen Funkens bei Entladung einer Leidner Flasche.** Auch zu Versuchen mit Reibungselektricität hat Weber sein Dynamometer benutzt. Während die Mittelpunkte beider Drahtrollen zusammenfielen, wurde das eine Drahtende der beweglichen mit dem einen Drahtende der festen Rolle verbunden; von den beiden übrigen Drahtenden wurde sodann das eine zu der äußern Belegung einer Leidner Batterie, das andere zu einer nassen Schnur geführt, welche an den isolirten Auslader geknüpft war. Die Batterie wurde geladen und endlich der Auslader dem metallenen Knopfe genähert, welcher mit der innern Belegung der Batterie in Verbindung stand. In dem Augenblicke nun, in welchem die Entladung der Batterie durch die nasse Schnur und die Rollen des Dynamometers stattfand, wurde das vorher in Ruhe befindliche Dynamometer in Schwingungen gesetzt, welche oft einen Bogen von mehreren Hundert Scalentheilen umfaßte. Der am Fernrohr stehende Beobachter konnte leicht die Größe der ersten Elongation und die Seite, nach welcher sie erfolgte, bestimmen.

Die Richtung der Ablenkung ergab sich als diejenige, welche durch das Ampère'sche Fundamentalgesetz schon im Voraus bestimmt war. Somit ist bewiesen, daß der Ampère'sche Fundamentalversuch auch mit dem Strome der gemeinen Elektricität gemacht werden kann.

Als außer dem Dynamometer auch noch ein Galvanometer in den Schließungsbogen eingeschaltet war, wurden folgende zusammengehörige Beobachtungen gemacht:

Länge der Schnur	Elongation des Galvanometers = e	Elongation des Dynamometers = ε	$\frac{e^2}{\varepsilon}$
2000 mm	79,9	65,6	97,3
1000	76,6	153,0	38,3
500	82,3	293,8	23,0
250	87,3	682,0	11,2
125	93,2	aus der Scala	
250	82,9	609,1	11,3
500	95,6	422,8	21,6
1000	95,8	210,1	43,7
2000	101	98	105,0

Die Regelmäßigkeit dieser Resultate macht es wahrscheinlich, daß bei diesen Versuchen mit der nassen Schnur wirklich alle Elektricität der Batterie durch die Drahtleitung hindurchgehe und darin einen Strom bilde, der dem Strome einer galvanischen Säule einigermaßen an Continuirlichkeit vergleichbar seyn dünfte. Wäre dies der Fall, so könnte man von den vorliegenden Beobachtungen eine wichtige Anwendung machen, indem sich alsdann die im vorigen Paragraphen entwickelten Regeln darauf anwenden ließen, um die Dauer des Stromes, welche mit der Dauer des Entladungsfunkens als gleich betrachtet werden darf, zu bestimmen. Um die relativen Zeitmaaße, welche schon obige Tabelle in der mit $\frac{e^2}{\varepsilon}$ überschriebenen Columne beigefügt sind, auf absolute zu reduciren, bedarf es nach dem vorigen Paragraphen nur noch eines Versuches mit einem constanten durch beide Instrumente gehenden Strome. Weber hat diesen Versuch ausgeführt und gefunden, daß man obige Werthe von $\frac{e^2}{\varepsilon}$ mit 1188 zu dividiren habe, um die Dauer des Stromes in Secunden zu erhalten. Hiernach ergeben sich aus obigen Beobachtungen folgende Mittelwerthe:

Länge der Schnur	Dauer des Funkens
2000 Millimeter	0,0851 Secunden
1000 »	0,0345 »
500 »	0,0187 »
250 »	0,0095 »

Es ergiebt sich hieraus, daß die Dauer des Funkens der Länge der Schnur fast proportional ist.

Dadurch ist auch die Ansicht gerechtfertigt, welche Rieß über die Dauer des Entladungsfunkens ausgesprochen hat. (S. Oben S. 122).

247 **Ergänzung des statischen Gesetzes der elektrischen Abstoßung.** Das Ampère'sche Gesetz bezieht sich nur auf die gegenseitige Wirkung zweier Stromelemente; in unseren Versuchen können wir aber nicht die Einwirkung zweier Stromelemente, sondern nur das gegenseitige Verhalten geschlossener Ströme einer Prüfung unterwerfen; von einer experimentellen Bestätigung des Ampère'schen Gesetzes kann also nur indirect die Rede seyn. Setzt man voraus, wie es wohl nicht bezweifelt werden kann, daß die Total-Wirkung zweier geschlossener Ströme auf einander gleich ist der Summe der Wirkungen, welche die Elemente des einen geschlossenen Stromes auf die Stromelemente des andern ausüben, so läßt sich, von dem Ampère'schen Gesetz ausgehend, die gegenseitige Wirkung geschlossener Ströme berechnen, und wenn diese berechneten Resultate mit der Erfahrung übereinstimmen, so kann man auch wieder rückwärts auf die Richtigkeit des Ampère'schen Gesetzes schließen, und in dieser Weise hat Weber auch durch die genauesten Messungen den experimentellen Beweis für die Gültigkeit des Ampère'schen Gesetzes geliefert.

Weber ist aber hierbei nicht stehen geblieben, er hat das Ampère'sche Gesetz auch noch in einen inneren Zusammenhang mit den übrigen Grundgesetzen der Elektricität gebracht, denn von ihm ausgehend, ist er zur Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes der elektrischen Wirkung gelangt, welches sowohl die Elektrostatik, wie die Elektrodynamik umfaßt und aus welchem sich denn das Inductionsgesetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollständige Entwickelung des eben angedeuteten Zusammenhanges findet sich in der bereits im vorigen Paragraphen citirten Abhandlung, deren Verständniß jedoch ziemlich bedeutende mathematische Kenntnisse erfordert. — Herr Professor Weber hatte die Güte, mir brieflich die Grundzüge einer elementaren Entwickelung seiner schönen Theorie mitzutheilen; es freut mich, dadurch in Stand gesetzt zu seyn, meinen Lesern diesen schwierigen Gegenstand in einer Klarheit und Präcision vorlegen zu können, die ich ohne diese gütige Unterstützung, für die ich dem verehrten Göttinger Physiker meinen aufrichtigsten Dank sage, vergebens angestrebt haben würde. —

Betrachten wir die elektrischen Fluida in zwei Stromelementen A und B, deren Wechselwirkung wir untersuchen wollen, so haben wir in denselben gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, welche sich in jedem Elemente in entgegengesetztem Sinne bewegen. Diese gleichzeitige

entgegengesetzte Bewegung positiver und negativer Elektricität, wie man sie in allen Theilen eines linearen Drahtes anzunehmen pflegt, kann in der Wirklichkeit zwar nicht existiren, kann aber für unsern Zweck als eine ideale Bewegung angesehen werden, welche in den von uns betrachteten Fällen, wo es sich bloß um Wirkungen in der Ferne handelt, die wirklich vorhandenen Bewegungen hinsichtlich aller in Betracht zu ziehenden Wirkungen vertritt und dabei den Vorzug hat, sich besser der Rechnung unterwerfen zu lassen.

Alsdann haben wir in den zwei Stromelementen, die wir betrachten, vier Wechselwirkungen elektrischer Massen, zwei abstoßende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in A und der negativen Masse in B, und ferner zwischen der negativen Masse in A und der positiven in B.

Jene beiden abstoßenden Kräfte müßten, wenn die bekannten elektrostatischen Gesetze eine unbedingte Anwendung auf unsern Fall fänden, den beiden anziehenden Kräften gleich seyn, weil die gleichartigen sich abstoßenden Massen den ungleichartigen sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abstoßend auf einander; wenn also irgend ein Zusammenhang zwischen den Grundgesetzen der Elektrostatik und der Elektrodynamik stattfinden soll, so muß man annehmen, daß die gegenseitige Einwirkung elektrischer Massen durch ihren Bewegungszustand modificirt werde. Das statische Gesetz der elektrischen Abstoßung bedarf also einer Ergänzung, wenn die Gesetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden sollen, und diese Ergänzung muß aus dem durch die Erfahrung geprüften und bestätigten Gesetze der elektrodynamischen Kräfte gefunden werden, welches Ampère aufgestellt hat. Diese Ergänzung ergiebt sich auf die einfachste Weise aus der Betrachtung zweier specieller Fälle, welche das Ampère'sche Gesetz umfaßt, wo dasjenige, was die gesuchte Ergänzung leisten soll, sich am einfachsten bestimmen läßt.

Fig. 238 a.

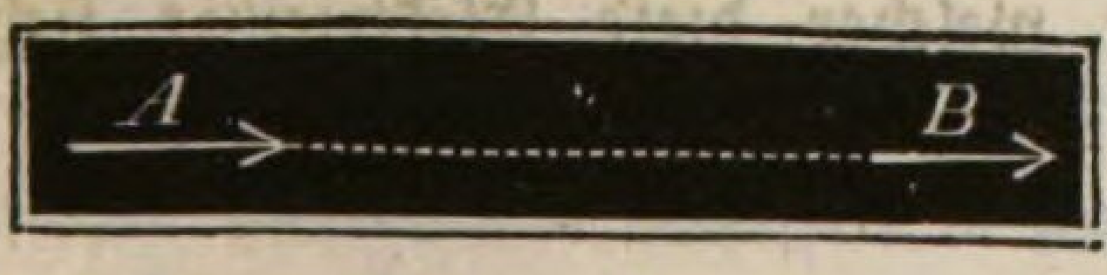
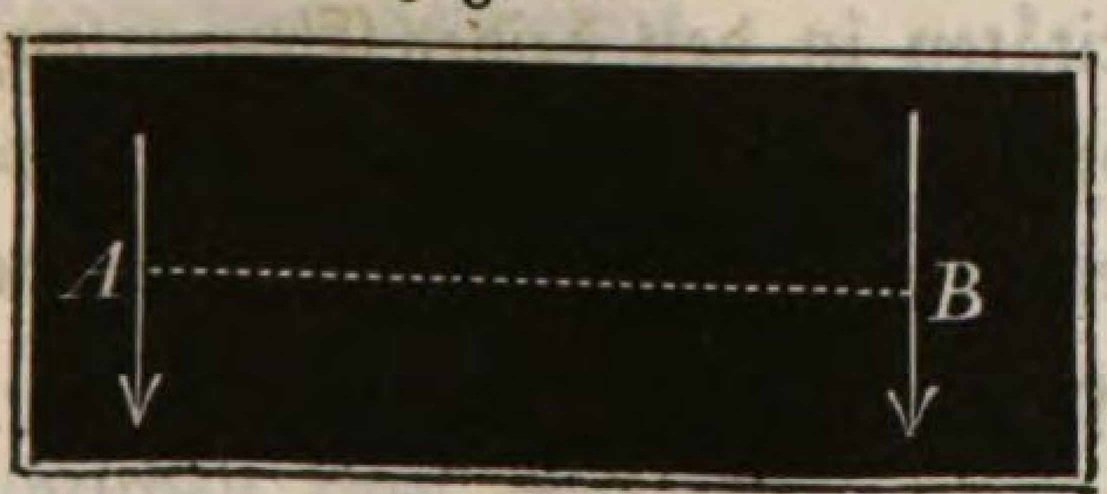


Fig. 238 b.



Der erste dieser beiden Fälle ist der, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der sie verbindenden Geraden zusammenfällt, wie dies Fig. 238 a angedeutet ist; der zweite Fig. 238 b dargestellte Fall dagegen ist der, wo die Richtung beider Elemente parallel ist und senkrecht steht zu den sie verbindenden Geraden.

Diese beiden speciellen Fälle haben das mit einander gemein, daß die gleichnamigen Elektricitäten der beiden aufeinander wirkenden Elemente in Größe und Richtung gleiche Bewegung haben und ihre gegenseitige Lage daher unverändert bleibt. Es folgt daraus, daß auf diese gleichnamigen Elektricitäten (trotz ihrer Bewegung) das statische Gesetz unveränderte Anwendung findet. Die gesuchte Ergänzung des statischen Gesetzes kommt dann bloß für die Wechselwirkung der ungleichnamigen Elektricitäten in Betracht (welche gleiche aber entgegengesetzte Bewegung haben) und läßt sich daher leichter bestimmen.

Diese beiden speciellen Fälle unterscheiden sich aber von einander dadurch, daß die entgegengesetzte Bewegung der ungleichnamigen Elektricitäten im ersten Falle bloß eine relative Geschwindigkeit ohne Beschleunigung, im andern Falle bloß eine relative Beschleunigung ohne Geschwindigkeit hervorbringt. Betrachten wir diese beiden Fälle etwas näher.

Erster Fall.

α bezeichne die Länge der Stromelemente, i die Stromintensität, r die Entfernung der beiden Elemente. Nach Ampère ist ihre Anziehungskraft (wenn ε, Θ, Θ' die Winkel bezeichnen, welche die Richtung der Stromelemente unter einander und mit r bilden)

$$= aa \frac{\alpha\alpha}{r.r} ii \,(cos.\varepsilon - \tfrac{3}{2}\, cos.\Theta\; cos.\Theta')$$

oder weil in diesem Falle $\varepsilon = \Theta = \Theta' = o$ ist

$$= -\frac{aa}{2} \frac{\alpha\alpha}{r \cdot r} ii \text{ (Anziehungskraft)}$$

$$= +\frac{aa}{2} \frac{\alpha\alpha}{r \cdot r} . ii \text{ (Abstoßungskraft).}$$

Betrachtet man aber nun die Elektricitäten in den beiden Elementen und deren Wechselwirkung, so kann man die in einem Elemente enthaltene, seiner Länge α proportionale Elektricitätsmenge durch

$$\pm e\alpha$$

darstellen, wo e diejenige Elektricitätsmenge bezeichnet, welche der Länge $= 1$ entspricht. Die Geschwindigkeit, mit welcher diese Elektricität sich bewegt, werde mit

$$\pm u$$

bezeichnet. Es findet nun hier das statische Gesetz der Abstoßung, sowohl auf die Wechselwirkung der positiven Elektricitäten in den beiden Elementen, als auch auf die der negativen seine Anwendung, weil sie nur eine gemeinsame Bewegung haben, welche ihre gegenseitige Lage nicht ändert. Jede von diesen beiden Wechselwirkungen giebt die Kraft

$$+\frac{ee}{rr} \alpha \cdot \alpha,$$

also zusammen

$$\frac{2\,ee}{rr}\,.\,\alpha\alpha;$$

dagegen bedarf das statische Gesetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil die entgegengesetzte Geschwindigkeit, mit welcher sich beide in derselben geraden Linie bewegen, eine relative Geschwindigkeit $v = 2\,u$ hervorbringt. Ohne diese Correction würde sich aus dem statischen Gesetze für jedes Paar die Abstoßungskraft

$$-\frac{ee}{rr}\,.\,\alpha\alpha,$$

also zusammen für beide Paare

$$-\frac{2\,ee}{rr}\,\alpha\alpha$$

ergeben. Mit der Correction möge diese Kraft durch

$$-\frac{2\,ee}{rr}\,\alpha\alpha\,(1-x)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechselwirkungen ist alsdann

$$+\frac{2\,ee}{rr}\,\alpha\alpha-\frac{2\,ee}{rr}\,\alpha\alpha\,(1-x)=+\frac{2\,ee}{rr}\,\alpha\alpha\,x\,(\text{Abstoßungskraft}).$$

Dieser Werth ist dem nach Ampère bestimmten gleichzusetzen und daraus ist x zu bestimmen. Es ist also

$$+\frac{2\,ee}{rr}\,\alpha\alpha x=\frac{aa}{2}\,\frac{\alpha\alpha}{rr}\,ii,$$

folglich

$$x=\frac{aa}{4}\,\frac{ii}{ee}.$$

Nun wird die Stromintensität i durch die Elektricitätsmenge bestimmt, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt strömt, d. i.

$$i = eu = \tfrac{1}{2}\,ev,$$

folglich

$$x=\frac{aa}{16}\,vv.$$

Substituirt man diesen Werth von x, so erhält man die Abstoßungskraft zweier elektrischen Massen ε und ε' allgemeiner durch die statische Formel mit Hinzufügung der von der relativen Geschwindigkeit abhängigen Correction bestimmt

$$=\frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1-\frac{aa}{16}\,vv\right)$$

So führt uns denn dieser erste Fall der elektrodynamischen Wirkung zwischen zwei Stromelementen, wenn wir ihn mit dem elektrostatischen

Grundgesetz in Beziehung setzen wollen, zu der Annahme, daß zwei bewegte elektrische Massen desto schwächer (abstoßend oder anziehend, jenachdem sie gleichnamig oder ungleichnamig sind) auf einander wirken, je größer das Quadrat ihrer relativen Geschwindigkeit ist.

Zweiter Fall.

Der zweite Fall unterscheidet sich von dem ersten bloß dadurch, daß $\Theta = \Theta' = 90^0$ ist ($\varepsilon = o$ bleibt wie vorher). Die Anziehungskraft beider Stromelemente ist also nach Ampère

$$a\,a \frac{\alpha\alpha}{rr}\, ii \,(cos.\,\varepsilon - {}^3/_2\, cos.\,\Theta\; cos.\,\Theta') = +\, a\,a \frac{\alpha\alpha}{rr}\, ii$$

oder deren Abstoßungskraft

$$= -\, a\,a \frac{\alpha\alpha}{rr} ii.$$

Das statische Gesetz der Abstoßung findet auch hier sowohl auf die positive Elektricität in beiden Elementen, als auch auf die negative Anwendung, weil sie eine gemeinsame Bewegung haben, welche ihre gegenseitige Lage nicht ändert. Als Summe dieser beiden Wechselwirkungen hat man also wieder

$$+ \frac{2ee}{rr}\,\alpha\alpha.$$

Dagegen bedarf das statische Gesetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil dieselben nach entgegengesetzten Richtungen sich bewegen, und die corrigirte Abstoßungskraft der beiden Paare zusammengenommen kann durch

$$- \frac{2ee}{rr}\,\alpha\alpha\,(1 + y)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechselwirkungen wird dann erhalten

$$+ \frac{2ee}{rr}\,\alpha\alpha - \frac{2ee}{rr}\,\alpha\alpha\,(1 + y) = - \frac{2ee}{rr}\,\alpha\alpha y \text{ (Abstoßungskraft)};$$

wird nun dieser Werth dem nach Ampère bestimmten gleichgesetzt, nämlich

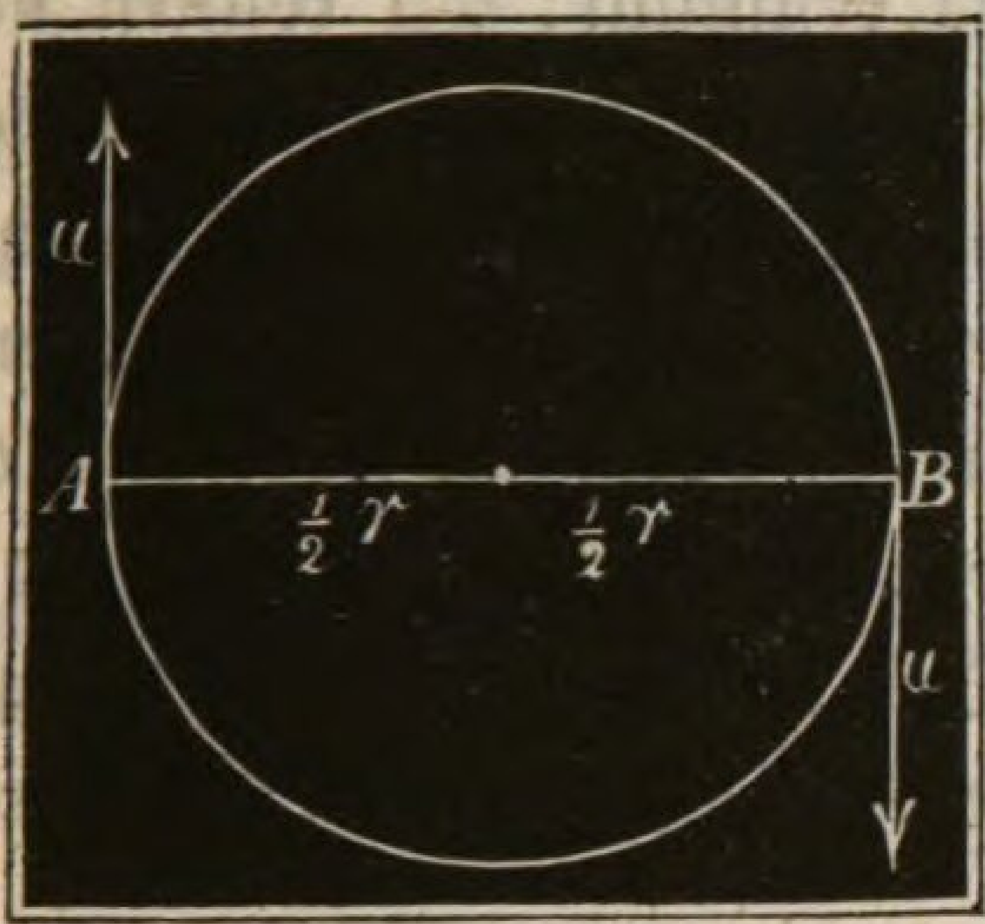
$$- \frac{2ee}{rr}\,\alpha\alpha y = -\, a\,a \frac{\alpha\alpha}{rr}\, ii,$$

so erhält man daraus für y

$$y = \frac{aa}{2}\,\frac{ii}{ee} = \frac{aa}{2}\, uu.$$

Die mit der Geschwindigkeit u in entgegengesetzten Richtungen strömenden Elektricitäten der beiden Elemente A und B bewegen sich nach den Tangenten eines um die Mitte von r gezogenen Kreises und bleiben immer diametral gegenüber. Die Beschleunigung g' einer jeden, in Beziehung auf den Mittelpunkt des Kreises ist, nach den bekannten Gesetzen der Kreisbewegung, den Quadraten ihrer Geschwindigkeit nach der Richtung der Tangenten ($= uu$) direct und dem Halbmesser des Kreises ($= \frac{1}{2}r$) umgekehrt proportional, oder es ist

Fig. 239.



$$g' = \frac{2uu}{r},$$

folglich ist die Summe der Beschleunigungen beider in Beziehung auf den Mittelpunkt, d. h. ihre relative Beschleunigung gegeneinander

$$g = 2g' = \frac{4uu}{r}$$

und hieraus

$$uu = \frac{gr}{4}.$$

Substituirt man diesen Werth, so ist

$$y = \frac{aa}{8}\,gr.$$

Mit diesem Werthe von y erhält man die Abstoßungskraft zweier elektrischen Massen ε und ε' allgemeiner durch die statische Formel = Hinzufügung der von der relativen Beschleunigung abhängigen Correction bestimmt

$$= \frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 + \frac{aa}{8}\,gr\right).$$

Faßt man endlich die beiden von der relativen Geschwindigkeit und von der relativen Beschleunigung abhängigen Correctionen zusammen und fügt man sie der durch das statische Gesetz gegebenen Formel hinzu, so erhält man nun das allgemeine Grundgesetz der Wirkung zweier elektrischen Massen ε und ε', nämlich

$$\frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv + \frac{aa}{8}\,gr\right)$$

und diese Formel bestimmt, auf alle anderen Fälle angewandt, die Wechselwirkung zweier beliebig gegeneinander gestellter Stromelemente A und B stets ebenso wie das Ampère'sche Gesetz, wenn man nach derselben die vier

Wechselwirkungen, welche zwischen den beiden elektrischen Massen in A und den beiden in B stattfinden, berechnet und summirt.

Hierdurch sind die Wirkungen gleichförmiger elektrischer Strömungen in ruhenden Leitungsdrähten in der Ferne völlig bestimmt; wir können nun aber auch diese Principien in Anwendung bringen, um zu ermitteln, welche Wirkungen ein durchströmter bewegter Leitungsdraht oder ein solcher, dessen Stromintensität zu- oder abnimmt, in einem stromlosen Drahtelemente hervorbringt, und so ergeben sich aus dem in diesem Paragraphen ermittelten allgemeinen elektrischen Gesetze auch die unter dem Namen der Volta-Induction bekannten Erscheinungen. Des Zusammenhanges wegen wollen wir die theoretische Ableitung des Inductionsgesetzes hier unmittelbar folgen lassen.

248 **Weber's Theorie der Volta-Induction.** Das so eben gefundene Grundgesetz kann auch auf den Fall der Induction angewendet und das allgemeine Inductionsgesetz daraus abgeleitet werden, und zwar am einfachsten mit Hülfe der folgenden geometrischen Construction.

1) Es sey α das inducirende Stromelement, welches dem durchströmten Leitungsdrahte RR' angehört; wir wollen die Wirkung ermitteln, welche das Stromelement α auf α', d. h. auf ein Element des stromlosen Leitungsdrahtes SS' ausübt, wenn der durchströmte Draht bewegt wird. Es stelle nun αA die Geschwindigkeit dar, mit welcher das Element α selbst bewegt wird, αB und $\alpha B'$ seyen die Stromgeschwindigkeiten der beiden Elektricitäten in demselben. Setzt man αA mit αB zusammen, so erhält man die Geschwindigkeit αC für die positive Elektricität; setzt man αA mit $\alpha B'$ zusammen, so erhält man die Geschwindigkeit $\alpha C'$ der negativen Elektricität

Fig. 240.

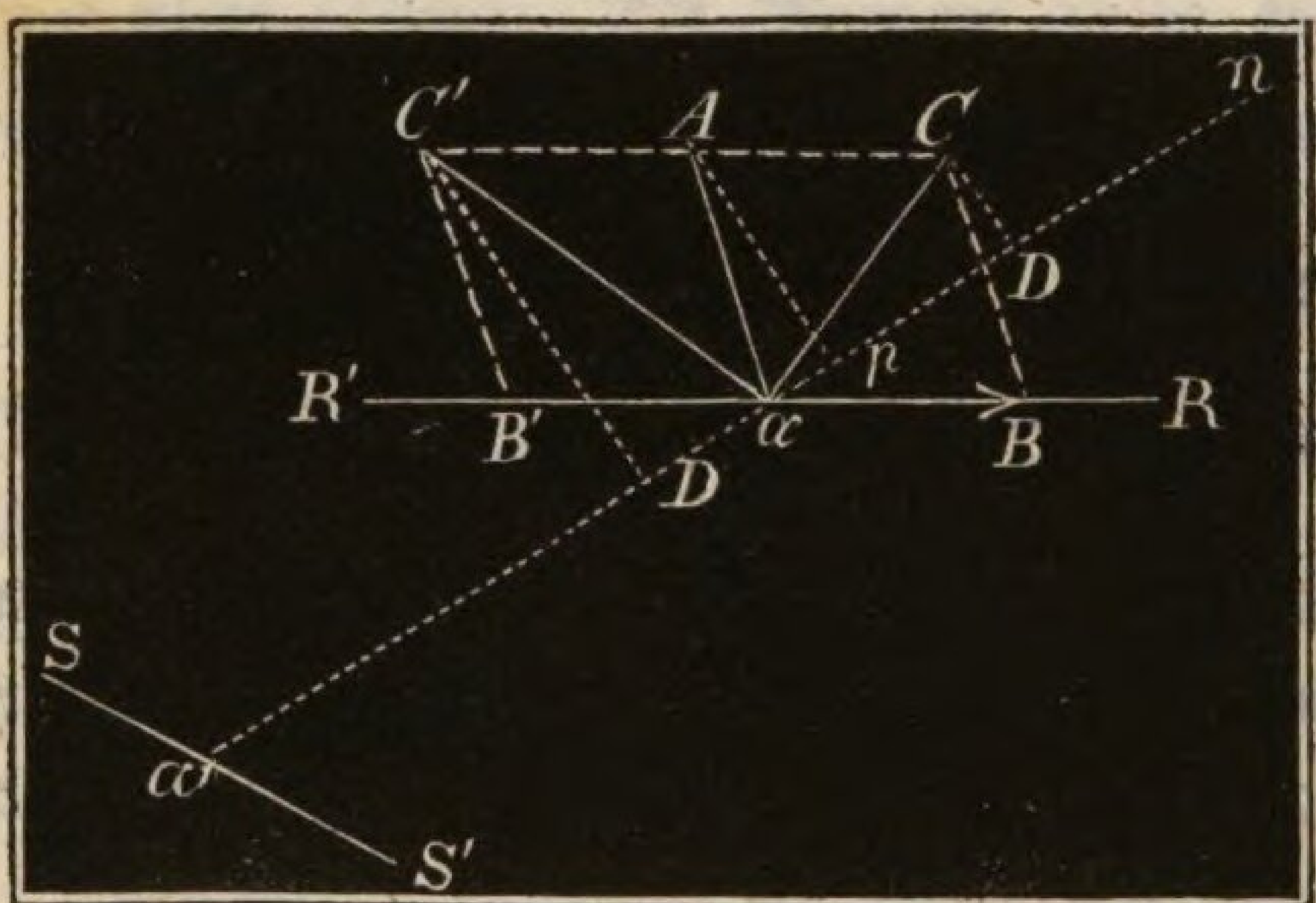
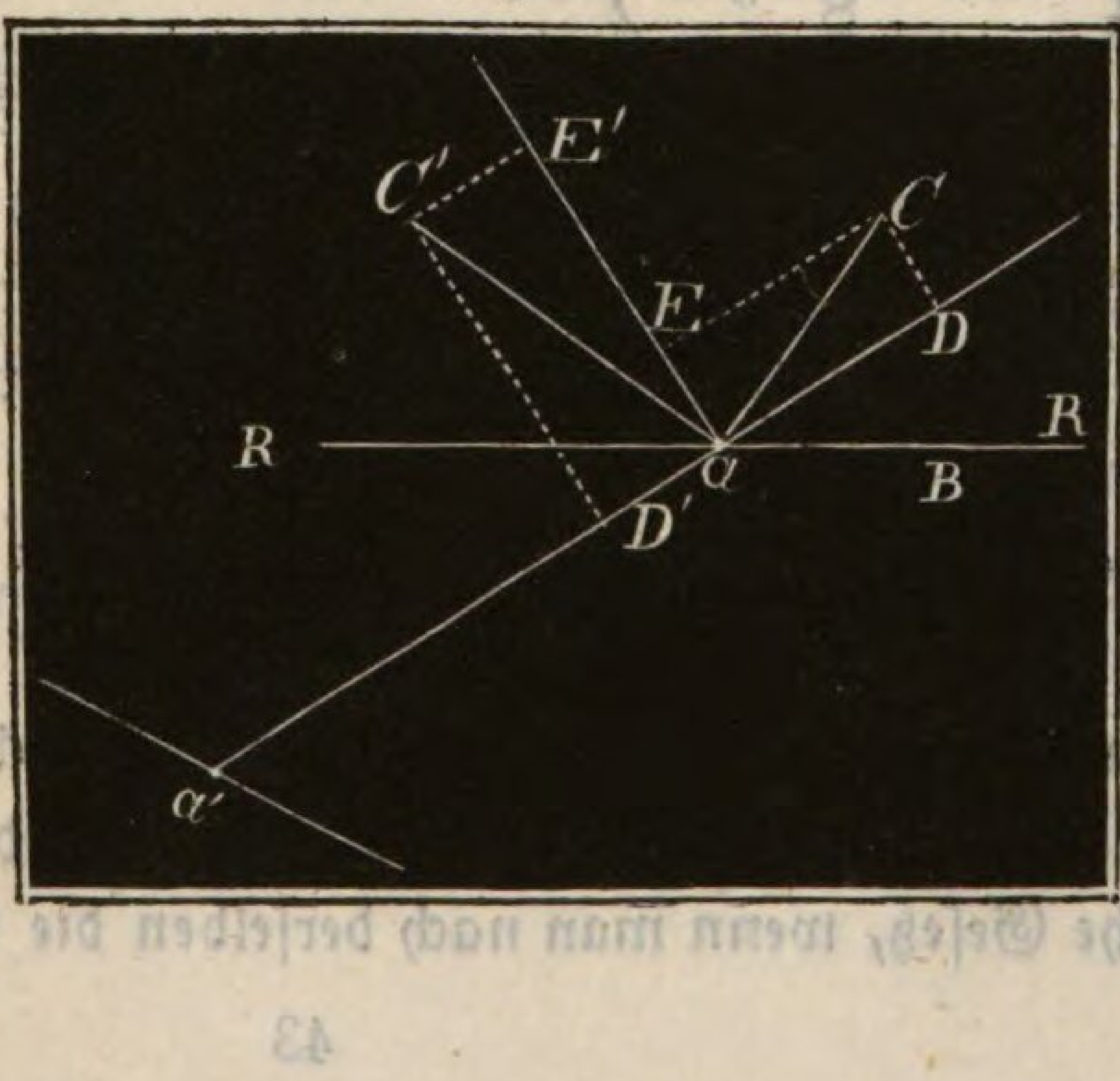


Fig. 241.



2) Man ziehe nun die Verbindungslinie $\alpha\alpha' = r$. Die

Geschwindigkeit αC wird zerlegt in die Geschwindigkeit αD Fig. 241 nach der Richtung von r und in die Geschwindigkeit αE rechtwinklig darauf. Ebenso wird die Geschwindigkeit $\alpha C'$ zerlegt in die Geschwindigkeit $\alpha D'$ nach r und $\alpha E'$ rechtwinklig darauf. Es ist nun $\alpha D = v$ die relative Geschwindigkeit der positiven, $\alpha D' = v'$ die relative Geschwindigkeit der negativen Elektricität in α gegen die ruhende Elektricität in α'.

3) Aus den Tangentialgeschwindigkeiten (für α' als Mittelpunkt) $\alpha E = u$ und $\alpha E' = u'$ ergiebt sich dagegen aus dem Gesetze der Kreisbewegung die relative Beschleunigung der positiven Elektricität in α gegen α'

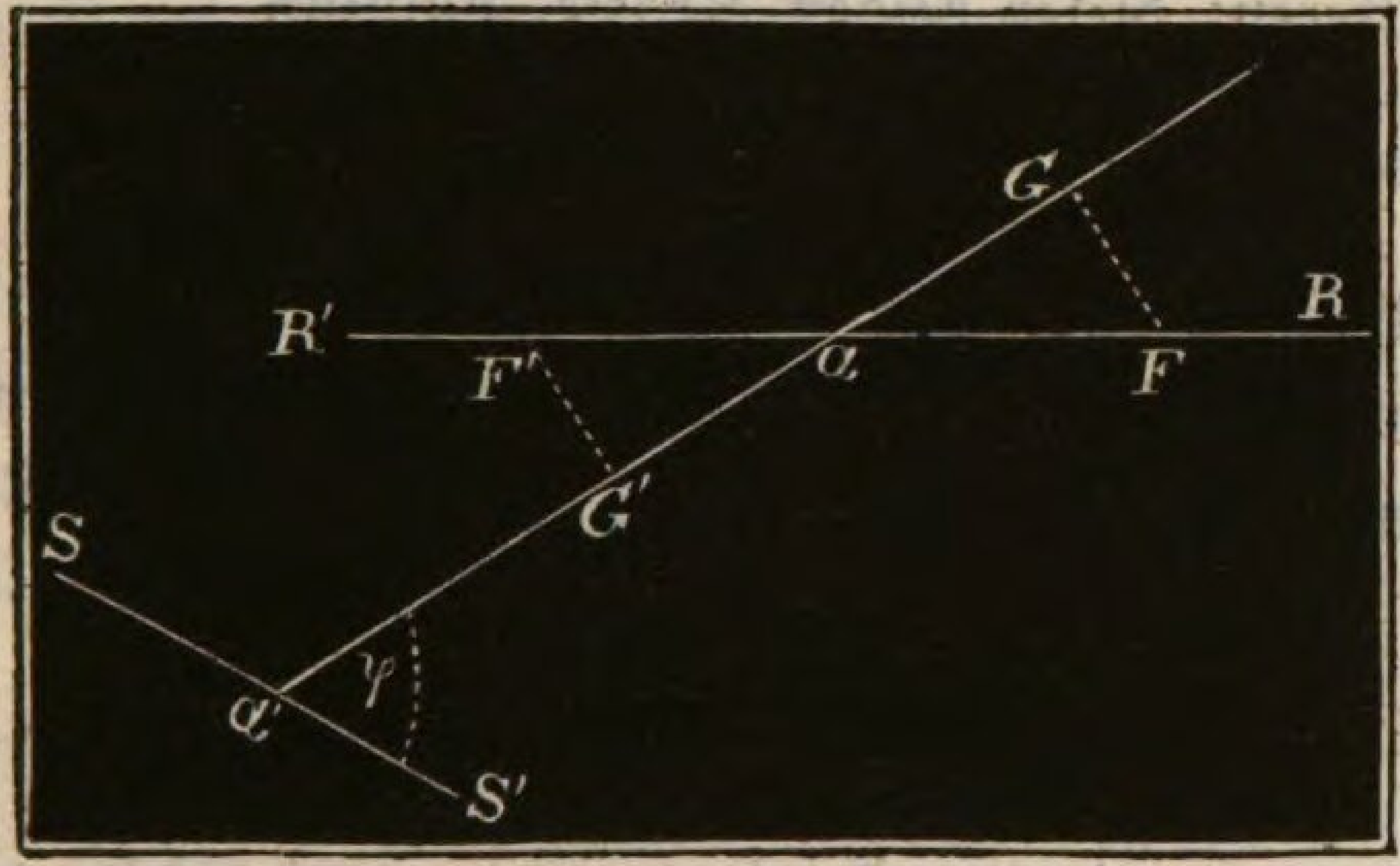
$$g'' = \frac{uu}{r}$$

und der negativen Elektricität in α gegen α'

$$g''' = \frac{u'u'}{r}.$$

4) Soll die Theorie nicht allein die Induction durch Annähern und Entfernen des inducirenden Drahtes gegen den inducirten, sondern auch die Induction durch Entstehen und Verschwinden oder, allgemeiner gesagt, durch Verstärkung und Schwächung des Hauptstroms umfassen, so müssen wir den Strom in α selbst veränderlich nehmen, wir müssen also annehmen, daß in dem Leitungsdrahte RR' selbst eine Strombeschleunigung oder Verzögerung stattfinde. Es stelle nun αF und $\alpha F'$ Fig. 242 die Strombeschleunigung für die positive und negative Elektricität in α dar, so giebt die Zerlegung nach der Richtung von r die daraus entspringende relative Beschleunigung gegen α', nämlich für die positive Elektricität

Fig. 242.



$$\alpha G = g_0$$

für die negative Elektricität

$$\alpha G' = -g_0$$

folglich die ganze relative Beschleunigung für die positive Elektricität

$$g = g'' + g_0 = \frac{uu}{r} + g_0$$

für die negative Elektricität

$$g' = g''' - g_0 = \frac{u'u'}{r} - g_0$$

hiernach erhält man folgende vier Wechselwirkungen

von $+ e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv + \frac{aa}{8}\,gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,v'v' + \frac{aa}{8}\,g'r\right)$

von $+ e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv + \frac{aa}{8}\,gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,v'v' + \frac{aa}{8}\,g'r\right)$

Die Summe dieser vier Wechselwirkungen ist Null; eine elektrodynamische Wirkung findet also zwischen dem durchströmten Elemente α und dem stromlosen α' nicht statt. In Summe aber ist die Kraft

auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}\,(v'v' - vv) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}\,(v'v' - vv) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf die positive und negative Elektricität in α' wirken also ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche sie zu trennen strebt, d. h. die Inductionskraft in der Richtung von r ist also die Differenz dieser beiden Kräfte, nämlich

$$\frac{2ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\,\frac{aa}{16}\left\{v'v' - vv - 2r\,(g' - g)\right\}$$

Substituirt man den geometrisch construirten Werthen von v, v', u und u' ihre trigonometrischen Ausdrücke, so erhält man das Inductionsgesetz in der Form, in welcher es gebraucht wird. Setzt man nämlich in 1)

$$\alpha A = c\ ;\ \alpha B = \frac{i}{e}\ ;\ \text{Winkel } A\alpha B = \varepsilon,$$

so erhält man

$$(\alpha C)^2 = cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon$$

$$(\alpha C')^2 = cc + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon.$$

Setzt man ferner in 2)

$$\text{Winkel } A\alpha n = \Theta'$$

$$\text{Winkel } B\alpha\alpha' = \Theta,$$

so erhält man

$$\alpha D = \alpha p + pD = c\cos.\Theta' + \frac{i}{e}\cos.\Theta$$

$$\alpha D' = \alpha p - pD' = c\cos.\Theta' - \frac{i}{e}\cos.\Theta$$

und

$$vv = \alpha D^2 = \left(c\,cos.\,\Theta' + \frac{i}{e}\,cos.\Theta\right)^2$$

$$v'v' = \alpha\,D'^2 = \left(c\;cos.\,\Theta - \frac{i}{e}cos.\,\Theta\right)^2$$

folglich

$$v'v' - vv = -\frac{4ci}{e}\,cos.\,\Theta\;cos.\,\Theta',$$

ferner

$$uu = (\alpha E)^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D)^2$$

$$= cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e}\,cos.\,\varepsilon - \left(c\,cos.\Theta' + \frac{i}{e}cos.\Theta\right)^2$$

$$u'u' = (\alpha E')^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D')^2$$

$$= cc^2 + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e}\,cos.\,\varepsilon - \left(c\,cos.\Theta' - \frac{i}{e}cos.\Theta\right)^2$$

folglich

$$-2r(g'-g) = -2(u'u' - uu) + 4g_0 r$$

$$= \frac{8ci}{e}(cos.\,\varepsilon - cos.\,\Theta\;cos.\,\Theta') + 4g_0 r.$$

Endlich, wenn man in 4) die Beschleunigung der Stromgeschwindigkeit αF mit $\frac{1}{e}\,\frac{di}{dt}$ bezeichnet ist, so ist

$$g_0 = \frac{cos.\Theta}{e}\,\frac{di.}{dt}.$$

Substituirt man nun diese Werthe von $v'v' - vv$, $-2r\,(g' - g)$ und g_0 in den oben gefundenen Ausdruck für die Inductionskraft, nämlich in

$$\frac{2ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\,\frac{aa}{16}\left\{v'v' - vv - 2r\,(g' - g)\right\},$$

so erhält man

$$\frac{\alpha\alpha'}{rr}\,aae'ci\,(cos.\,\varepsilon - {}^3\!/_2\,cos.\,\Theta\;cos.\,\Theta') + {}^1\!/_2\,\frac{\alpha\alpha'}{r}\,aae'\,cos.\,\Theta\,\frac{di}{dt}.$$

Die hierdurch bestimmte Kraft sucht nun die positive und negative Elektricität im inducirten Elemente α' nach der Richtung der Geraden r von einander zu scheiden. In der Wirklichkeit kann diese Scheidung nur nach der Richtung von α' erfolgen, weil in einem linearen Leiter ein galvanischer Strom nur in der Richtung des Leiters stattfinden kann. Zerlegt man obige Kraft nach der Richtung des Elements α' und senkrecht darauf, so kommt nur der erste Theil als elektromotorische Kraft in Betracht und dieser ist, wenn φ den Winkel bezeichnet, welchen das Element α' mit r macht, und ferner mit e' dividirt

$$= \frac{\alpha\alpha'}{rr} a\,i (\cos.\varepsilon - \tfrac{3}{2}\cos.\Theta \cos.\Theta')\, a\,c.\cos.\varphi + \tfrac{1}{2} \frac{\alpha\alpha'}{r} a \cos.\Theta \cos.\varphi \frac{di}{dt}.$$

Handelt es sich nur darum, die Induction zu ermitteln, welche ein constanter Strom eines bewegten Drahtes in einem benachbarten stromlosen hervorbringt, so ist $\frac{di}{dt} = 0$ und der obige Werth reducirt sich auf

$$\frac{\alpha\alpha'}{rr} a\,i (\cos.\varepsilon - \tfrac{3}{2} \cos.\Theta \cos.\Theta')\ a\,c\ \cos.\varphi \ldots\ldots a)$$

Bleibt hingegen der Draht, welcher den primären Strom leitet, in Ruhe, so wird $c = 0$, und wenn dann die Stromstärke im Hauptdraht ab- oder zunimmt, so reducirt sich der obige Werth auf

$$\tfrac{1}{2}\ \frac{\alpha\alpha'}{r} a \cos.\Theta \cos.\varphi \frac{di}{dt} \cdots\cdots b).$$

Suchen wir nun diese Werthe a) und b) der elektromotorischen Kraft an einigen speciellen Fällen zu erläutern und mit der Erfahrung zu vergleichen.

Sind z. B. die Elemente α und α' einander parallel und ist die Richtung, nach welcher α bewegt wird, in der Ebene beider Elemente senkrecht auf dieselben, so ist, wenn α sich von α' entfernt,

$$\cos.\varepsilon = 0$$
$$\cos.\varphi = -\cos.\Theta$$
$$\cos.\Theta' = \sin\Theta,$$

der Werth a) reducirt sich also auf

$$+ \tfrac{3}{2} \cos.\Theta^2 \sin.\Theta.$$

Der positive Werth dieses Ausdruckes zeigt uns, daß in diesem Falle der inducirte Strom dem inducirenden gleichgerichtet ist.

Wird α gegen α' genähert, so bleibt alles Uebrige unverändert, nur wird $\cos.\Theta' = -\sin.\Theta$; der Werth a reducirt sich also auf

$$- \tfrac{3}{2} \cos.\Theta^2 \sin.\Theta;$$

in diesem Falle hat also der inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung des inducirenden.

Der Werth von b) wird posititiv, wenn $\frac{di}{dt}$ negativ ist; im Nebendraht wird also ein dem Hauptstrom gleichgerichteter inducirt, wenn dieser Hauptstrom an Stärke abnimmt oder verschwindet. Bei Entstehung des Hauptstroms aber, oder wenn er an Stärke zunimmt, ist $\frac{di}{dt}$ positiv, der Werth b) wird dadurch negativ; in diesem Falle ist also der inducirte Strom dem inducirenden entgegengesetzt.

Fechner's und Neumann's Theorie der Induction. Fechner ist der Erste gewesen, welcher es versucht hat, einen innern Zusammenhang zwischen den elektrodynamischen und den Inductionserscheinungen zu entwickeln, welche vorher von Lenz bloß durch eine empirische Regel in Beziehung zu einander gesetzt worden waren. Fechner hat sich dabei nur auf einen Fall der Induction beschränkt, nämlich auf den, wo ein ruhender constanter Strom auf einen gegen ihn bewegten Leitungsdraht wirkt. (P. A. LXIV. 337.) Von einer nähern Auseinandersetzung dieser, nur einen engeren Kreis von Erscheinungen umfassenden Theorie des verdienstvollen Leipziger Physikers dürfte hier wohl abstrahirt werden, da wir so eben die umfassendere Theorie Weber's in ihren Grundzügen kennen gelernt haben. 249

Neumann hat der Akademie in Berlin eine Abhandlung über die Theorie der Induction übergeben, aus welcher in Poggendorff's Annalen (Bd. LXVII. S. 31) ein Auszug erschienen ist. Neumann sagt:

»Aus dem Lenz'schen Satze: daß die Wirkung, welche der inducirende »Strom oder Magnet auf den inducirten Leiter ausübt, immer, wenn die »Induction durch eine Bewegung des letzteren hervorgebracht ist, einen hemmenden Einfluß auf diese Bewegung ausübt, in Verbindung mit dem »Satze: daß die Stärke der momentanen Induction proportional mit der »Geschwindigkeit dieser Bewegung ist, wird das allgemeine Gesetz der linearen »Induction abgeleitet

$$E ds = - \varepsilon v C ds.$$

»Hierin bedeutet ds ein Element des inducirten Drahtes und $E ds$ die »in dem Elemente ds inducirte elektromotorische Kraft; v ist die Geschwin»digkeit, mit welcher ds bewegt ist, C die nach der Richtung, in welcher »ds bewegt wird, zerlegte Wirkung des Inducenten auf ds, dieses Ele»ment durchströmt gedacht von der Einheit des Stroms. Die Größe ε »kann bei der linearen Induction als eine Constante behandelt werden.

Weber hat nun in seiner bereits mehrfach citirten Abhandlung gezeigt, daß das Neumann'sche Gesetz mit seiner Theorie übereinstimmende Resultate giebt, sobald man die Anwendung des Neumann'schen Gesetzes auf geschlossene, durch Magnete ersetzbare Ströme beschränkt.

Eine nähere Erörterung dieses Gegenstandes ist hier nicht wohl möglich.

Achter Abschnitt.

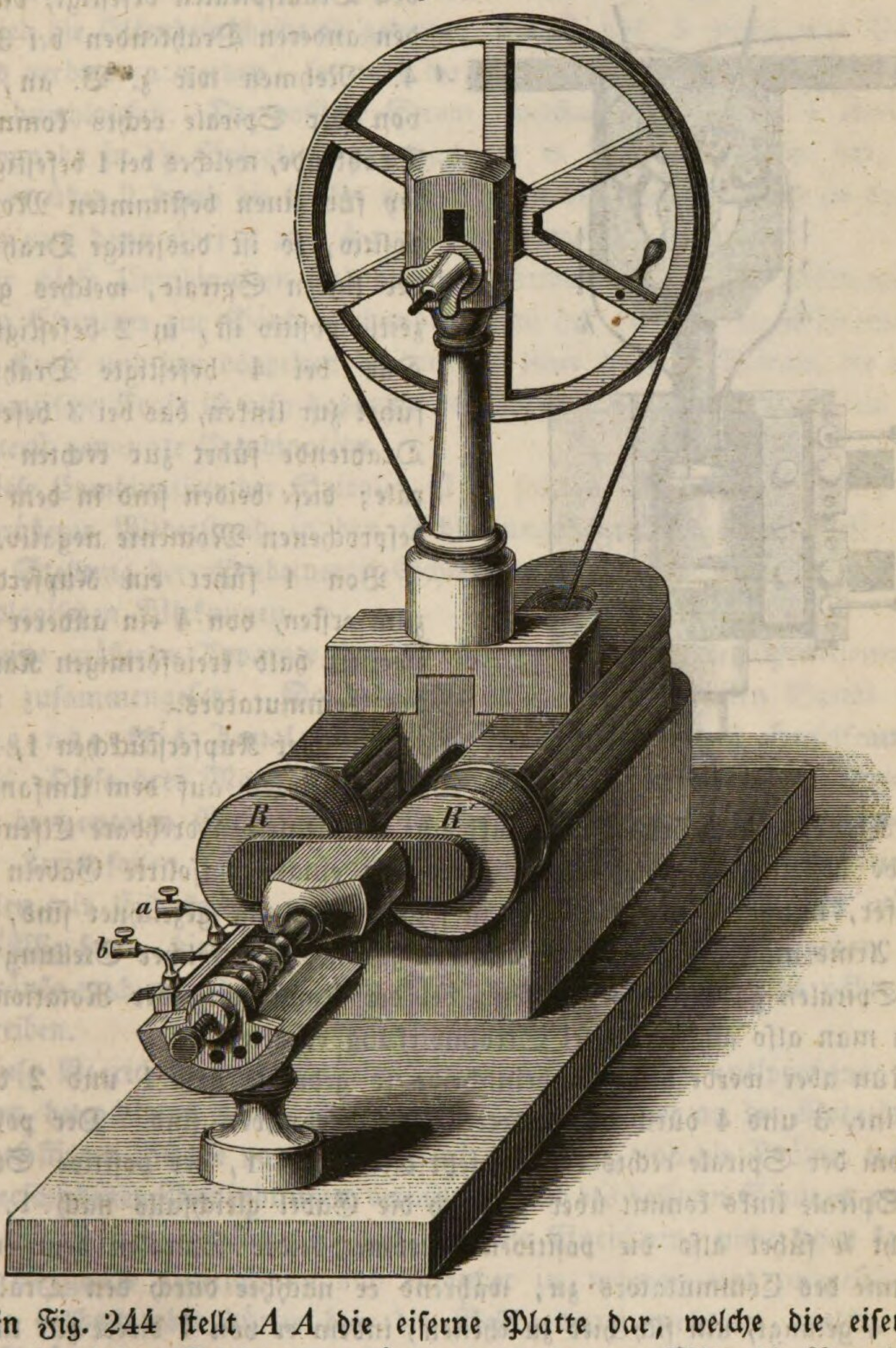
Elektrische Induction.

250 **Magnetoelektrische Rotationsapparate.** Die magnetoelektrischen Rotationsapparate sind in neuerer Zeit bedeutend verbessert worden. Petrina hat an dem bereits in meinem Lehrbuch der Physik beschriebenen Ettinghausischen Rotationsapparat einige zweckmäßige Abänderungen angebracht, unter denen vorzugsweise hervorzuheben ist, daß seine Maschine den Strom stets in gleicher Richtung durch den Schließungsbogen sendet, wie dies auch bei den Stöhrer'schen Maschinen geschieht. Um nach Belieben einen Intensitätsstrom oder einen Quantitätsstrom zu erhalten, ohne die Inductoren zu wechseln, hat er an derselben Rotationsaxe 4 Inductionsrollen angebracht, von denen immer je zwei diametral gegenüber stehende zusammen gehören. Zwei dieser Spiralen sind von dickem, zwei von dünnem Draht. Jedes Spiralenpaar hat seinen eigenen an derselben Spirale sitzenden Commutator, so daß man nach Belieben den Strom der dicken oder den Strom der dünnen Drahtspirale, oder auch beide gleichzeitig haben kann (Magnetoelektrische Maschine von F. Petrina. Linz 1844.).

Die magnetoelektrischen Rotationsapparate, welche Stöhrer in Leipzig construirt, dürfen wohl als die vollkommensten Instrumente dieser Art angeführt werden. Figur 243 stellt einen dieser Apparate von mittlerer Größe dar. Was das Arrangement im Ganzen betrifft, so ist hier wohl keine weitere Erläuterung nöthig; eben so bedarf wohl auch die Einrichtung des Commutators, welche Fig. 244 dargestellt ist, keiner weiteren Auseinandersetzung, da das Princip desselben bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Bd. S. 257) beschrieben ist; als neu aber muß ich die Vorrichtung beschreiben, welche dazu dient, um die beiden Spiralen auf verschiedene Weise zu combiniren, so daß man nach Belieben

einen stärkeren Strom von geringerer Spannung oder einen schwächeren Strom von größerer Spannung erzeugen kann. Dove nennt eine solche Vorrichtung Pachytrop.

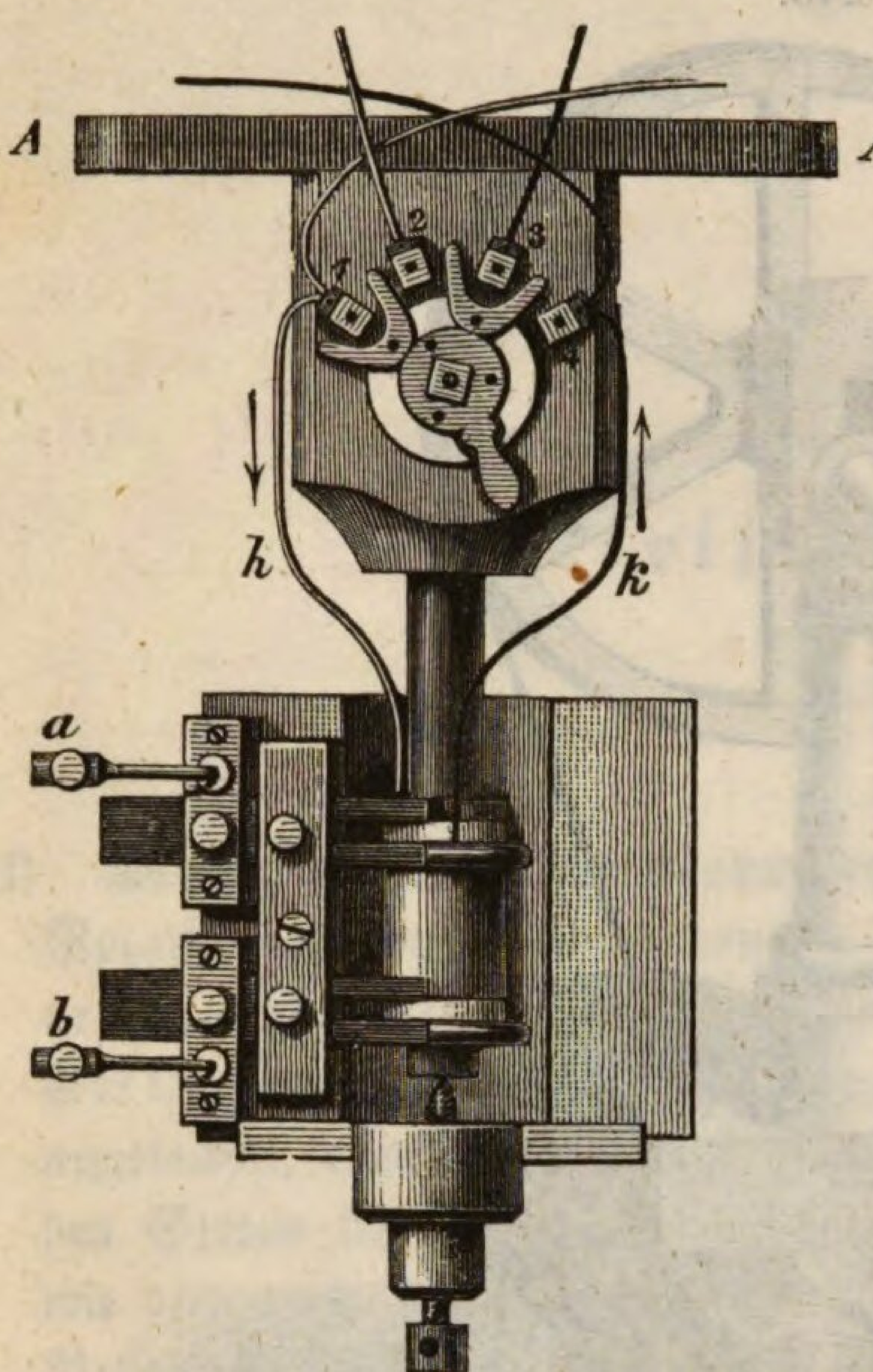
Fig. 243.



In Fig. 244 stellt *A A* die eiserne Platte dar, welche die eisernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsaxe des ganzen Apparates geht; an derselben ist, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befestigt, welches auf der einen (in Fig. 243 gerade nicht sichtbaren) Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Auf der Holzfläche sind zunächst 4 Kupferplättchen befestigt, welche in Fig. 244 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet sind. An 1 und 2 sind zwei gleichnamige Drahtenden der beiden Drahtspiralen befestigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befestigt ist, sey für einen bestimmten Moment positiv, so ist dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig positiv ist, in 2 befestigt. — Das bei 4 befestigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befestigte Drahtende führt zur rechten Spirale; diese beiden sind in dem eben besprochenen Momente negativ.

Fig. 244.



Von 1 führt ein Kupferdraht zum ersten, von 4 ein anderer zum zweiten halb kreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferstückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfang eines Kreises, in dessen Mittelpunkt eine um denselben drehbare Elfenbeinscheibe befestigt ist; diese trägt zwei von einander isolirte Gabeln von Kupfer, welche in unserer Figur in solcher Stellung gezeichnet sind, daß ihre Arme nicht auf die Kupferstückchen fallen. Bei solcher Stellung sind die Spiralen gar nicht geschlossen; bei der Umdrehung der Rotationsaxe kann man also auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinscheibe so gedreht, daß 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden sind. Der positive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der positive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht *h* führt also die positiven Ströme beider Spiralen dem ersten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht *k* nach 4 gelangt, um sich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schließungsbogen durchläuft, geht also zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, so sind hier gleichsam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromo-

torische Kraft ist gleich, der Widerstand ist halb so groß als für eine Spirale allein.

Diese Combination ist anzuwenden, um stärkere Ströme im Schließungsbogen von verhältnißmäßig geringem Widerstande zu erhalten.

Wird die Elfenbeinscheibe so gedreht, daß 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, so muß der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der positive Strom, welcher durch k bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er diese durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und h zum Commutator zu gelangen.

Für diese Combination sind also gewissermaßen die beiden elektromotorischen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotorische Kraft und den doppelten Widerstand einer einzigen Spirale, die elektromotorische Kraft ist also doppelt, der Widerstand 4mal so groß als für die zuerst genannte Combination.

Diese Combination der Spiralen ist in solchen Fällen zu wählen, wo ein größerer Widerstand in den Schließungsbogen eingeschaltet ist; bei dieser Stellung der elfenbeinenen Scheibe erhält man deshalb die stärksten physiologischen Wirkungen.

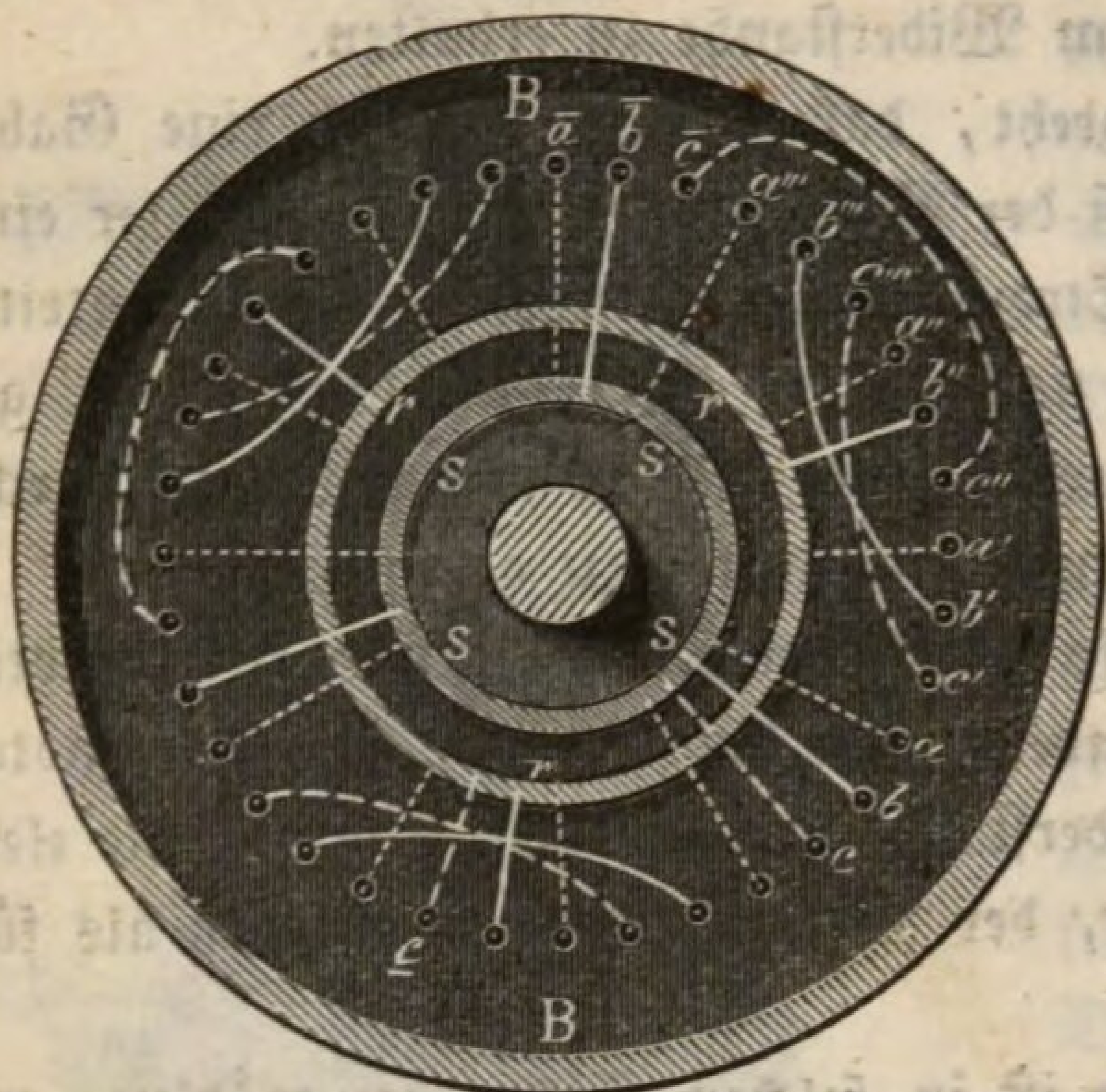
Seine größeren Apparate hat Stöhrer aus mehreren Hufeisenmagneten zusammengesetzt. So beschreibt er z. B. im 61sten Bande von Poggendorff's Annal. S. 417 einen Apparat mit 3 Hufeisenmagneten. Diese drei Magnete sind vertical gestellt, so daß die 6 Pole in einer horizontalen Ebene liegen und die Mittelpunkte der 6 Polflächen in einen Kreis fallen. Ueber diesen 6 Magnetpolen rotiren 6 Inductionsspiralen mit Eisenkernen um eine verticale Umdrehungsaxe. Es würde überflüssig seyn, hier eine Abbildung des ganzen Apparates zu geben, ich beschränke mich nur darauf, den Pachytrop dieser Maschine näher zu beschreiben.

Diese Vorrichtung ist natürlich complicirter als die entsprechende des so eben betrachteten kleinen Apparates; sie ist in einer an der Rotationsaxe befestigten Büchse von Messingblech enthalten, und die Drähte, welche die verschiedenen Verbindungen vermitteln, sind des besseren Schutzes wegen ganz mit Harz zugegossen, so daß man die Einrichtung nicht sehen kann, ohne die ganze Vorrichtung aus einander zu nehmen und zu zerstören; gerade deshalb aber dürfte hier die Beschreibung derselben, welche mir Hr. Stöhrer behufs der Publication aufs bereitwilligste mittheilte, am Platze seyn.

An der verticalen Umdrehungsaxe ist eine hölzerne Scheibe AA befestigt, welche man in Fig. 246 im Durchschnitt, Fig. 247 von Oben gesehen dargestellt sieht. Auf derselben sind in horizontaler Lage 12 Federn

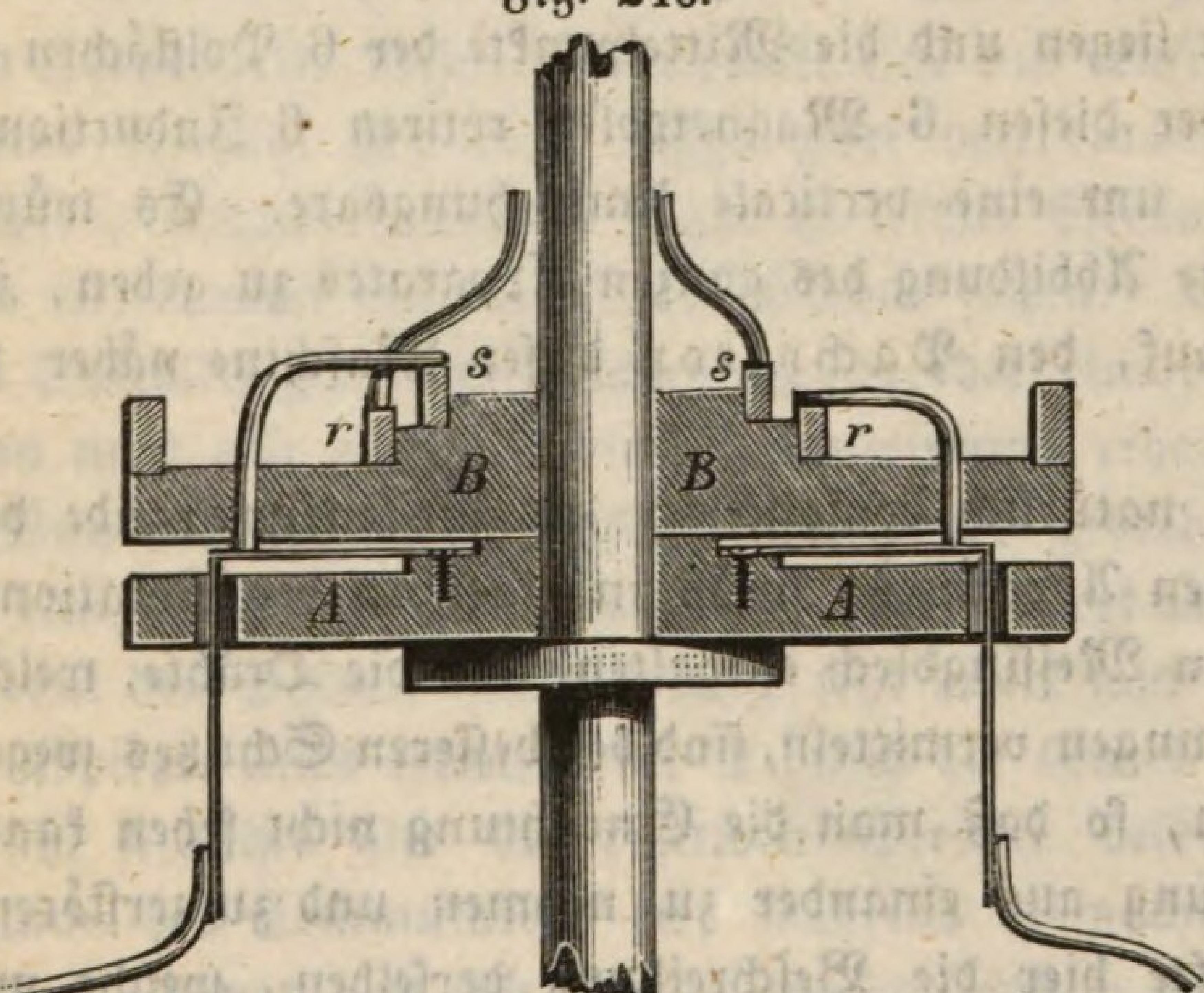
von Neusilber aufgeschraubt, von denen eine jede mit einem der 12 Drahtenden der 6 Inductionsspiralen verbunden ist, wie es die Figur andeutet; so bilden gewissermaßen die Federn 1 und 2 die Enden der Spirale *I*, 3 und 4 die der Spirale *II* u. s. w.

Fig. 245.



Ueber dieser Scheibe *A* ist nun eine zweite *B* drehbar, welche gleichfalls in Fig. 246 im Durchschnitt, Fig. 245 aber von oben gesehen dargestellt ist. Diese Scheibe hat in gleichen Abständen 36 Löcher, durch welche 36 Drähte vertical herabgehen, die dann oben theils zu dem Messingringe *r*, theils zum Messingringe *s*, theils von einem Loch zum andern führen. Die Drähte, welche in Fig. 245 punktirt angedeutet sind, dienen, um die 6 Spiralen neben einander, die gestrichelt punktirten, um sie hinter einander zu combiniren; durch die Drähte, welche ausgezogen sind, werden endlich je zwei Spiralen hinter einander combinirt.

Fig. 246.

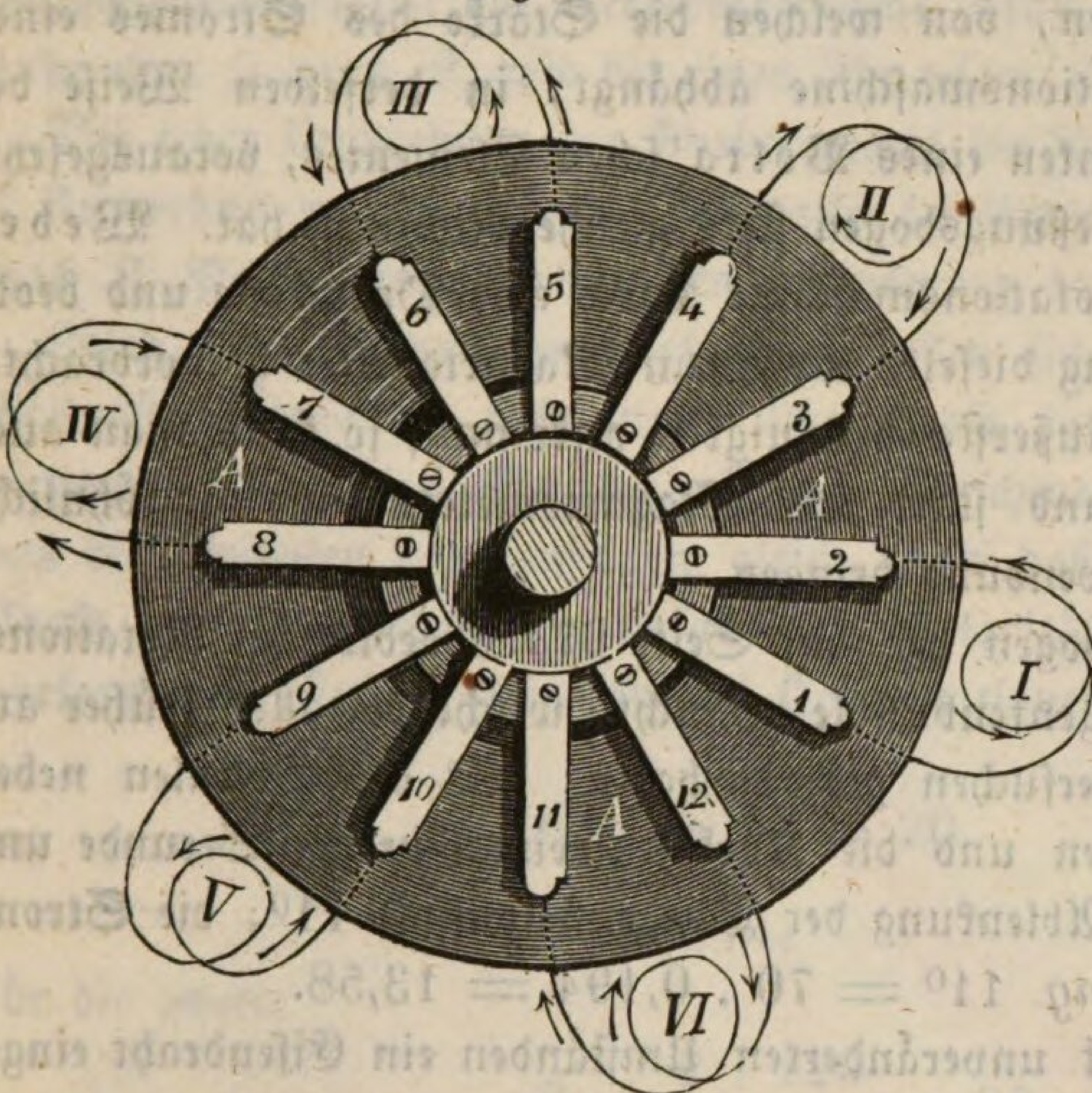


Die obere Scheibe sey so gedreht, daß *a* auf 1, *a'* auf 2 u. s. w. fällt, so ist klar, daß alle (für den Augenblick) positiven Drahtenden der 6 Spiralen mit dem äußeren Messingringe *r*, alle negativen aber mit dem inneren *s* verbunden sind. Von *r* aber führt ein Draht zum ersten, von *s* ein anderer zum zweiten Kamme des Commutators, der positive Strom aller Spiralen gelangt also direct zum Ringe *r*, von da über den Commutator zum Ringe *s* und von diesem aus in die Spiralen zurück. Hier sind die 6 Spiralen neben einander combinirt, bezeichnet man die elektromotorische Kraft und den Widerstand

einer Spirale mit e und r, so ist für diese Combination die elektromotorische Kraft gleich e, der Widerstand $\frac{r}{6}$.

Wird die obere Scheibe B so gedreht, daß b auf 1 kommt, so ist das negative Drahtende von I mit s, das positive von II mit r verbunden, während durch das Drahtstück b' b''' das negative Drahtende von II mit dem positiven von I verbunden ist; ein positiver von s kommender Strom tritt also durch b, welches auf 1 steht, in die Spirale I, nachdem er dieselbe durchlaufen hat, wird er von 2 aus durch den Draht b' b''' nach 4 geführt, um in die Spirale II überzugehen, er verläßt dieselbe bei 3 und gelangt von da über b'' nach dem äußeren Ringe r. — Auf dieselbe Weise sind bei dieser Stellung die Spiralen III und IV hinter einander combinirt; eben so V und VI. Es ist also die elektromotorische Kraft des ganzen Apparates $3e$, der Widerstand $\frac{2}{3}r$.

Fig. 247.



Sollen endlich die 6 Spiralen hinter einander combinirt werden, so daß bei der elektromotorischen Kraft $6e$ der Widerstand $6r$ ist, so wird c auf 1 gestellt. Jetzt geht der Strom, nachdem er die Spirale 1 durchlaufen hat, von c' über c''' nach 4, von da durch die Spirale II zur Feder 3, dann über c'' $\bar{c}$ in die Spirale III und so fort durch alle Spiralen, um endlich aus der Spirale VI zur Feder 11 und von dieser durch den Draht $\underline{c}$ zum Ring r zu gelangen, während das entgegengesetzte Drahtende der ersten Spirale durch den Draht c mit dem inneren Ring s verbunden ist.

Die ganze eben beschriebene und durch die Figuren in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe dargestellte Vorrichtung ist in einer Büchse von Messingblech enthalten.

Vergleichung der magnetoelektrischen Rotationsmaschinen mit anderen Elektromotoren. 251
Weber hat es zuerst versucht, genaue

Messungen mit magnetoelektrischen Rotationsmaschinen anzustellen und ihre Wirkungen auf absolutes Maaß zu reduciren (P. A. LXI. 431). Die Weber'sche Methode läßt sich aber auch bei anderen Einheiten und mit anderen Instrumenten in Anwendung bringen, durch welche die Versuche leichter anzustellen und die Resultate leichter zu übersehen sind; kurz man kann die Constanten, von welchen die Stärke des Stromes einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine abhängt, in derselben Weise bestimmen, wie die Constanten eines Volta'schen Elementes, vorausgesetzt, daß der Strom im Schließungsbogen stets gleiche Richtung hat. Weber leitete den Strom der Rotationsmaschine durch eine Drahtrolle und beobachtete, welche Ablenkung dieselbe an einem Magnetometer hervorbrachte. Wenn es nicht auf die äußerste Genauigkeit ankommt, so kann man auch statt dieser Drahtrolle und statt des Magnetometers eine gewöhnliche Tangentenbussole in Anwendung bringen.

In den Schließungsbogen der auf Seite 677 abgebildeten Rotationsmaschine wurde die Tangentenbussole gebracht, welche bei allen früher auf S. 255 besprochenen Versuchen gedient hatte. Als die Spiralen neben einander combinirt waren und die Kurbel zweimal in der Secunde umgedreht wurde, war die Ablenkung der Tangentenbussole 11^0; die Stromstärke war also $70 \,.\, tang.\, 11^0 = 70 \,.\, 0{,}194 = 13{,}58$.

Nun wurde bei sonst unveränderten Umständen ein Eisendraht eingeschaltet, dessen reducirte Länge gleich 61 ist. Bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit war jetzt die Ablenkung $5{,}5^0$, also die Stromstärke $70 \,.\, 0{,}096 = 6{,}72$; wir haben also die Gleichungen

$$13{,}58 = \frac{E}{R},$$

$$6{,}72 = \frac{E}{R + 61},$$

woraus sich ergiebt

$$R = 60,$$
$$E = 814.$$

Combinirt man die beiden Spiralen hinter einander, so hat man, wie bereits oben erwähnt wurde, die doppelte elektromotorische Kraft und den 4fachen Widerstand. Für den Fall also, daß der Widerstand im Schließungsbogen gegen den der Spiralen vernachlässigt werden kann, wäre also die Stromstärke

$$\frac{2 \,.\, 814}{4 \,.\, 60} = 6{,}78 = 70 \,.\, 0{,}0968 = 70 \,.\, tang.\, 5^0\, 32'.$$

Als der Versuch angestellt, d. h. als eine der Tangentenbussolen ohne sonstigen merklichen Widerstand in den Schließungsbogen des Instrumen-

tes eingeschaltet wurde, ergab sich bei der schon angeführten Umdrehungsgeschwindigkeit eine Ablenkung von 5,7°, was mit der berechneten sehr nah übereinstimmt.

Nach diesen Versuchen wäre also der Widerstand einer solchen Inductionsspirale ungefähr gleich 120, während bei der angegebenen Umdrehungsgeschwindigkeit die elektromotorische Kraft einer Spirale 814, also nahe eben so groß ist, wie die eines Bunsen'schen Bechers.

Bei jeder Umdrehung der Kurbel macht die Rotationsaxe des Inductors 7 Umdrehungen, in obigem Falle also 14 Umdrehungen in der Secunde, was 28 Polaritätswechsel in den Eisenkernen der Spiralen ausmacht.

Nach diesen Auseinandersetzungen lassen sich jetzt auch annähernd der Widerstand und die elektromotorische Kraft für die verschiedenen Combinationen der großen Stöhrer'schen Maschine berechnen, vorausgesetzt, daß die Spiralen den unsrigen gleich, und daß bei gleicher inducirender Kraft der Magnetpole gleichfalls 28 Polaritätswechsel in der Secunde vorkommen; für die erste der drei Combinationen hat man

$$R = \frac{120}{6} = 20$$
$$E = 814,$$

für die zweite

$$R = \frac{2 \,.\, 120}{3} = 80$$
$$E = 3 \,.\, 814 = 2442,$$

für die letzte endlich

$$R = 6 \,.\, 120 = 720$$
$$E = 6 \,.\, 814 = 4884,$$

wonach man für gegebene Schließungsbogen ziemlich annähernd die Wirkungen jenes größeren Apparates berechnen kann.

Die elektromotorische Kraft der magnetoelektrischen Rotationsapparate hängt von der Umdrehungsgeschwindigkeit ab, wie dies Weber durch seine bereits citirten Messungen nachgewiesen hat. Auch mit unserer kleineren Maschine habe ich dergleichen Messungen gemacht. Als die Kurbel nur einmal in der Secunde umgedreht wurde, erhielt man 8,5° Ablenkung; während also die Zahl der Polaritätswechsel in der Secunde von 28 auf 14 herabkam, nahm die Stromstärke nur im Verhältniß von 0,194 zu 0,149 oder von 1 : 0,76 ab.

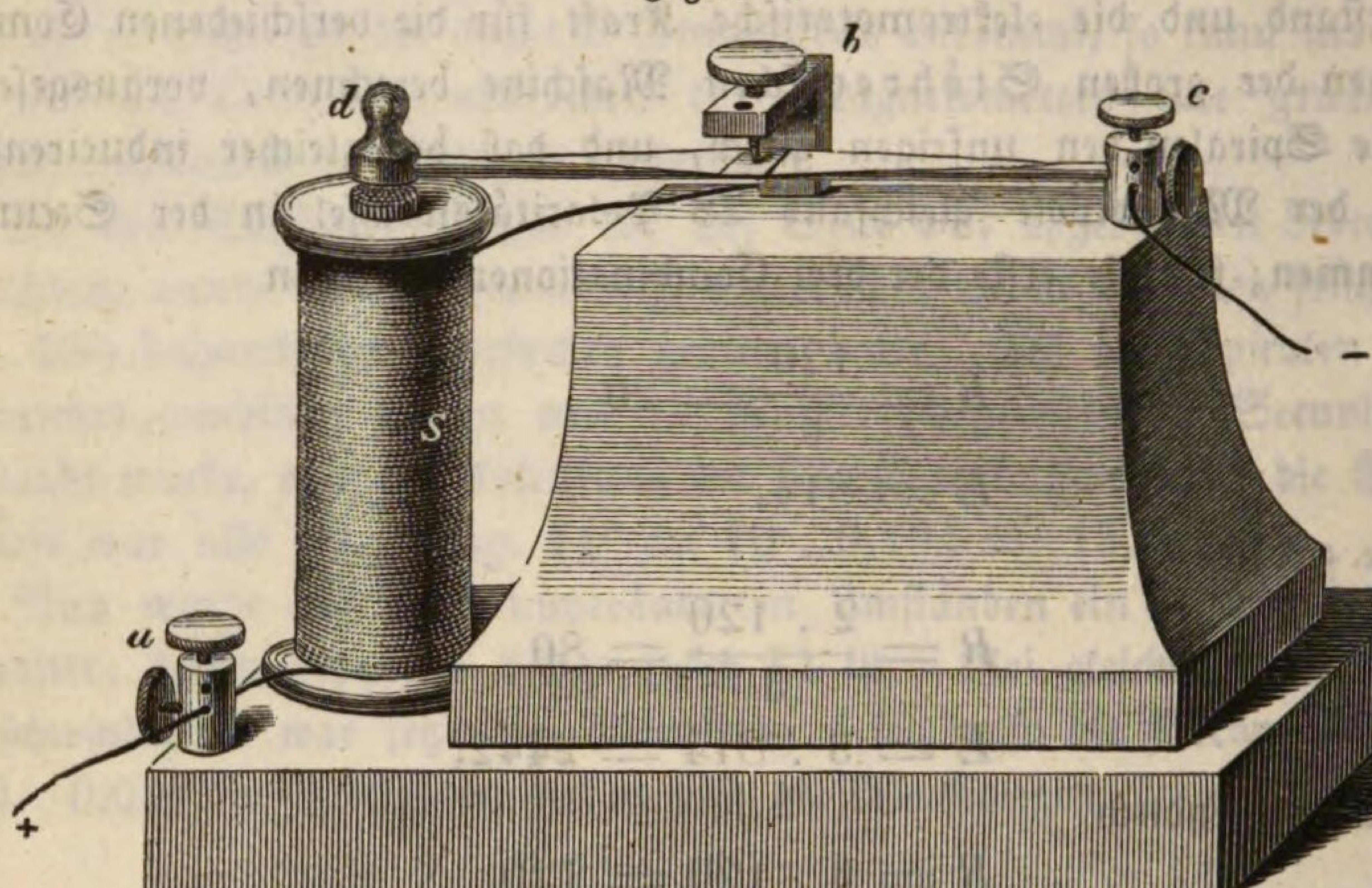
Im Allgemeinen nimmt also die elektromotorische Kraft mit der Rotationsgeschwindigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältniß. Ob die elektromotorische Kraft für eine bestimmte Geschwindigkeit ein Maximum erreicht, um über dieselbe hinaus wieder abzunehmen, oder ob sich die elek-

tromotorische Kraft asymptotisch einem größten Werthe nähert, ist noch nicht ermittelt.

252 **Elektromagnetische Apparate.** Der Neef'sche Apparat, welcher bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Band, S. 248) beschrieben worden ist, wurde von Desaga in Heidelberg vereinfacht und verbessert; aus der Desaga'schen Form des Apparates entwickelte sich die in Fig. 248 abgebildete.

S ist eine Spirale von dünnem übersponnenem Kupferdraht, welcher auf eine Hülse von Holz gewickelt ist. Die beiden Drahtenden dieser Spirale

Fig. 248.



führen zu den Messingständern *a* und *b*. Im Innern der Holzhülse befindet sich ein Bündel von Eisendrähten.

In dem Messingsäulchen *c* ist ein federnder Kupferstreifen befestigt, dessen anderes Ende in einem kleinen Zwischenraum über dem Drahtbündel in der Spirale ein eisernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge schwach gegen eine von Oben herabkommende Platinspitze an, welche sich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, ist gewöhnlich ein kleines Platinplättchen aufgesetzt.

Der eine Pol eines Volta'schen Elementes wird nun bei *a*, der andere bei *c* eingeschraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, gelangt aus derselben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinspitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieser nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieser Strom macht das Eisendrahtbündel, welches sich in der Spirale *S* befindet, magnetisch, der eiserne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch die Berührung zwischen der Platinspitze und der Kupferfeder aufgehoben, also der Strom unterbrochen; in Folge davon verliert das Eisendrahtbündel seinen Magnetismus, die Feder geht in die Höhe, der Strom wird wieder hergestellt, um sogleich wieder unterbrochen zu werden. So dauert dieses Spiel der Schließung und Oeffnung der Kette in rascher Aufeinanderfolge fort; an der Platinspitze beobachtet man dabei die Lichterscheinung, welche bereits auf Seite 423 beschrieben wurde.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes bildet sich nun in der Spirale *S* der Extrastrom, sobald eine entsprechende Nebenschließung vorhanden ist. Befindet sich der menschliche Körper in dieser Nebenschließung, so erhält er die bekannten Schläge; die Einschaltung des Körpers kann nun hier auf verschiedene Weise ausgeführt werden.

1) Die eine Handhabe ist bei *b*, die andere bei *c* eingesetzt; hier bildet der menschliche Körper eine Nebenschließung statt der directen Leitung zwischen *b* und *c* mittelst der Kupferfeder. Nach der Unterbrechung des Hauptstromes bilden jetzt der Elektromotor, die Spirale *S* und der menschliche Körper eine zusammenhängende Leitung, der Schlag des Extrastromes kann also durch den Körper gehen.

2) Die eine Handhabe ist in *a*, die andere in *b* befestigt; bei dieser Combination ist nach der Unterbrechung des Hauptstromes der Elektromotor ausgeschaltet und die Spirale *S* nur noch durch den menschlichen Körper geschlossen, welcher also auch in diesem Falle den Schlag des Extrastromes erhält.

3) Die eine Handhabe ist bei *a*, die andere bei *c* eingeschraubt: jetzt wird nach Unterbrechung des primären Stromes das Volta'sche Element, welches denselben lieferte, nur noch durch den menschlichen Körper geschlossen seyn, die Spirale *S* ist ausgeschaltet, sie kann also ihren Extrastrom nicht durch den menschlichen Körper senden, man wird also in diesem Falle keinen Schlag empfinden.

Die Figur 248 ist nach einem vom Mechanicus Hild in Cöln trefflich ausgeführten Apparate, von dem er mir eine Zeichnung mitzutheilen die Güte hatte, gemacht. Ganz ähnlich sind auch die Apparate eingerichtet, welche Dr. Reinsch in der mechanischen Werkstätte der Gewerbeschule zu Zweibrücken anfertigen läßt.

Es versteht sich von selbst, daß sich dasselbe Princip der Stromunterbrechung auch bei eigentlichen Inductionsapparaten in Anwendung bringen läßt. Denken wir uns die Spirale *S*, welche in diesem Falle aus dickerem Drahte bestehen kann, mit einer zweiten dünndrahtigen Inductionsspirale umgeben, deren freie Drahtenden mit metallenen Handgriffen

versehen sind, so wird der Körper, welcher die Handhaben faßt, den Schlag des Inductionsstroms erhalten, welcher bei dem an der Platinspitze stattfindenden Oeffnen und Schließen des Hauptstroms in der äußeren Spirale inducirt wird.

253 **Wirkung von Eisendrahtbündeln auf die Stärke des Extrastromes.** Wenn in einer Drahtspirale, welche in den Schließungsbogen eines Volta'schen Elementes eingeschaltet ist, ein Bündel von Eisendrähten liegt, so ist der Oeffnungsschlag weit stärker, als wenn ein massiver Eisencylinder eingeschoben ist. Diese Beobachtung wurde zuerst von Bachhoffner und Sturgeon gemacht (Annales of Electricity Vol. I. p. 481). Eine nähere Untersuchung dieser merkwürdigen Erscheinung wurde von Magnus unternommen und in Poggendorff's Annalen Band XLVIII. S. 95 publicirt.

Früher glaubte man, die Wirkung der Drahtbündel beruhe darauf, daß das zum Draht verwendete Eisen ein viel weicheres sey als das zu Stäben verarbeitete. Magnus zeigte aber, daß selbst Bündel von gehärtetem Stahl noch stärkere Zuckungen geben als ein massiver Cylinder des weichsten Eisens; die stärkere Wirkung der Drähte beruht also auf der Trennung der Masse. Sind die einzelnen Drahtstäbchen durch Firniß oder durch Ueberspinnen vor metallischer Berührung geschützt, so wird dadurch die Wirkung noch etwas erhöht.

Um zu untersuchen, ob vielleicht die Drahtbündel durch den Strom der Spirale stärker magnetisirt würden als ein massiver Eisenstab, beobachtete Magnus die Ablenkung einer in der Nähe aufgestellten Bussole; es ergab sich, daß die Drahtbündel keineswegs stärker magnetisirt waren, daß also die stärkeren Zuckungen, welche sie hervorbringen, nur durch Induction beim Oeffnen der Kette entstehen.

Ein Bündel von Eisenstäbchen wurde durch leichtflüssiges Metall zu einem Cylinder zusammengeschmolzen; dieser gab aber jetzt keine so starke Wirkung als ein massiver Eisenstab; das Drahtbündel hatte also die verstärkende Kraft durch die metallische Verbindung der einzelnen Stäbchen verloren. Dasselbe Resultat ergab sich, als das Drahtbündel in einem hohlen Cylinder leicht flüssigen Metalls von $1/4$ Zoll Wanddicke und in eine dünnwandig gezogene Messingröhre gesteckt wurde; wurde aber die eine oder die andere dieser Umhüllungen der Länge nach aufgeschlitzt, so trat die Wirkung der Drähte ganz auf dieselbe Weise wieder hervor, wie wenn gar keine Umhüllung vorhanden wäre.

Faraday erklärt die vermehrte Wirkung beim Oeffnen eines durch eine Spirale laufenden Stromes im Wesentlichen auf folgende Weise: Der elektrische Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt, wenn die

Kette unterbrochen wird, in einer benachbarten parallel laufenden Drahtwindung einen Inductionsstrom von gleicher Richtung; fehlt aber dieser Nebendraht, so erzeugt der Strom bei seinem Verschwinden diesen gleich gerichteten Strom in dem Schließungsdrahte selbst, indem eine Windung auf die andere inducirend wirkt.

Wenn sich nun aber innerhalb der Spirale ein Eisenstab befindet, so verschwindet beim Oeffnen der Kette gleichzeitig auch der durch den Strom im Eisen hervorgerufene Magnetismus; das Verschwinden des Magnetismus wirkt aber wie das Verschwinden von elektrischen Strömen; der verschwindende Magnetismus inducirt in dem Leitungsdrahte gleichfalls einen Strom, welcher dem verschwindenden Strome des Drahtes gleich gerichtet ist, daher die Verstärkung durch das Eisen.

Diese Erklärung bedarf nun, wie Magnus nachweist, noch einer Ergänzung. Der verschwindende Strom im Draht inducirt nämlich auch gleich gerichtete Ströme im Eisen, wodurch dem Verschwinden des Magnetismus entgegengewirkt und die verstärkende Wirkung desselben geschwächt wird. Alles, was die Bildung dieser Ströme in der Eisenmasse hindert, wird also natürlich auch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus erhöhen müssen; da nun in einem Drahtbündel die durch das Verschwinden des Hauptstromes inducirten Ströme nicht so ungehindert sich bilden können wie im massiven Eisen, so ist klar, daß der Effect des verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels auch nicht durch diese Ströme vermindert wird, wie dies beim massiven Eisen der Fall ist.

Wenn das Eisendrahtbündel mit einer Hülle umgeben ist, die aus einem nicht magnetischen Metall besteht, so wird der verschwindende Magnetismus der Eisenstäbchen zunächst seine inducirende Wirkung auf seine metallische Hülle äußern und nicht auch auf die Spirale, weshalb in diesem Falle das Drahtbündel kaum so viel wirkt wie ein massiver Eisenstab.

Eiserne Röhren verstärken gleichfalls den Oeffnungsschlag mehr als massive Cylinder, und zwar um so mehr, je mehr bei gleichem äußeren Durchmesser die Masse abnimmt, daher eine Röhre von Eisenblech starke Zuckungen giebt. Werden die Röhren der Länge nach aufgeschlitzt, so wird der Schlag ebenfalls verstärkt; diese durch das Aufschlitzen bewirkte Verstärkung ist namentlich merklich bei dickeren Wänden, wie z. B. bei einem Flintenlauf, weniger bedeutend bei dünnen Blechröhren.

Ein spiralförmig gewundenes Eisenblech, dessen Querschnitt keinen in sich geschlossenen Leiter bildet, wirkt auch wie ein Drahtbündel.

Alle diese Erscheinungen lassen sich auf das eben angedeutete Erklärungsprincip zurückführen.

254 **Inducirte Ströme, welche bei galvanometrischer Gleichheit ungleich physiologisch wirken.** Der galvanometrische Effect eines Stromes ist der chemischen Wirkung stets proportional. Anders verhält es sich, wie Dove durch gründliche Untersuchungen nachgewiesen hat, mit den physiologischen Wirkungen. Für Maschinen-Elektricität hatte man längst einen solchen Unterschied gefunden, denn der den Körper heftig erschütternde Schlag der Leidner Flasche vermag nicht die Magnetnadel abzulenken; er erlangt diese Eigenschaft erst dadurch, daß man die Entladung verzögert, etwa durch Einschaltung einer nassen Schnur, wodurch aber die physiologische Wirkung verschwindet.

Aehnliche Verhältnisse stellen sich nun auch bei Strömen anderer Elektricitätsquellen heraus. Die gewöhnlichen galvanischen Ströme, mächtig auf die Magnetnadel wirkend, sind nicht im Stande merkliche physiologische Wirkungen hervorzubringen, während die Inductionsströme bei unbedeutendem galvanometrischen Effect heftige Zuckungen veranlassen.

Vorsselmann de Heer berichtet von einer Inductionsspirale, welche heftige Schläge gab, ohne einen merklichen galvanometrischen Effect zu geben. Auf einem hölzernen Cylinder waren 90 Fuß eines $1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahtes spiralförmig aufgewickelt, über diese Spirale aber eine zweite, bestehend aus einem 1500 Fuß langen Kupferdraht von $1/_{90}$ Zoll Durchmesser. Die erste Spirale bildet den Schließungsdraht der Kette, die letztere den Inductionsdraht. Schloß man diese Inductionsspirale durch den Körper, so erhielt man einen wahrhaft unerträglichen Schlag, so oft der die innere kürzere Spirale durchlaufende Strom unterbrochen wurde. Schaltete man aber zwischen den Drahtenden der Inductionsspirale statt des menschlichen Körpers ein Galvanometer ein, so wich die Nadel desselben nicht von der Stelle, wenn der Hauptstrom unterbrochen wurde. (P. A. XLVI. 530.)

Aus einer Verstärkung der physiologischen Effecte läßt sich also durchaus nicht auf eine vermehrte galvanometrische Wirkung schließen, und so hat denn auch Dove nachgewiesen, daß die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln statt massiver Eisenkerne hervorgebracht werden, keineswegs von einer Verstärkung des Stromes herrühren. (P. A. XLIX. 72.)

Zu diesen Versuchen wandte er eine Vorrichtung an, welche er mit dem Namen eines Differential-Inductors bezeichnete. Auf zwei Holzröhren von $18\frac{1}{2}$ Linien innerer Weite wurden Kupferdrähte von $2\frac{1}{2}$ Linien Dicke aufgewunden, und zwar so, daß auf jeden Cylinder 29 Windungen kamen; diese beiden Drahtwindungen bildeten, mit einander verbunden, den Schließungsdraht einer galvanischen Kette. In diese mit dem Hauptdraht umgebenen Holzröhren wurden nun zunächst die Inductions-

spiralen gelegt, von denen jede aus 400 Fuß eines ½ Linie dicken übersponnenen Drahtes bestand. Diese Rollen waren kreuzweise verbunden, so daß die Richtung des inducirten Stromes der einen Drahtrolle der Richtung des in den andern erregten entgegengesetzt war. — Die freien Enden dieser Inductionsrollen wurden darauf vermittelst Handhaben durch den Körper oder durch ein Galvanometer geschlossen.

War in die Höhlung der beiden Inductionsspiralen kein Eisen eingelegt, so hob sich natürlich ihre Wirkung gegenseitig auf. Bei Schließung und Oeffnung der Kette erhielt weder der Körper einen Schlag, noch zeigte das Galvanometer eine Ablenkung. Dieses Gleichgewicht wurde aber alsbald gestört, wenn ein Eisenstab in eine der Spiralen eingeschoben wurde.

Die zu diesen Versuchen dienenden Cylinder verschiedener Eisensorten waren 11 Zoll 7 Linien lang, und hatten 11 ½ Linien im Durchmesser.

War durch Einschieben eines Eisenstabes in die eine Spirale das Gleichgewicht gestört worden, so konnte es durch allmäliges Hinzufügen von Eisendrähten in die andere Spirale wieder hergestellt werden. Die Zahl der Eisenstäbchen, welche diese Compensation bewirkte, war aber für das Gefühl und das Galvanometer nicht dieselbe. Im Folgenden ist angegeben, wie viel Eisenstäbchen in die eine Spirale eingeschoben werden mußten, um die Wirkung des in der andern befindlichen Eisenstabes zu compensiren, und zwar je nachdem dieser Stab aus verschiedenem Material verfertigt war.

	Für das Galvanometer.	Für das Gefühl.
Schmiedeeisen . . .	$110 + x$	15
Weicher Stahl . . .	92	24
Harter Stahl . . .	28	7
Graues Roheisen . .	27	11

Bei dem Schmiedeeisen reicht die in die Höhlung der Spirale hineingehende Anzahl der Drähte nicht hin, um das galvanometrische Gleichgewicht herzustellen.

Ohne Ausnahme ist also die zur Compensation einer massiven Eisenmasse erforderliche Drahtmenge für das Galvanometer größer als für das Gefühl, oder mit anderen Worten: bei gleichem galvanometrischen Effect ist die von dem Drahtbündel herrührende Erschütterung bedeutender als die der massiven Eisenmasse.

»In Beziehung auf das galvanometrische Gleichgewicht,« sagt Dove, »muß noch eine eigenthümliche Erscheinung erwähnt werden, welche da»für spricht, daß die Steigerung der Ströme bis zu dem Maximum ihrer »Intensität bei gleicher mittlerer Stärke nicht in derselben Zeit geschieht. »Angenommen, die Anzahl der Drähte überwiege den massiven Cylinder,

»so daß der Ausschlag der Nadel im Sinne des durch die Dråhte erzeug»ten Stromes geschieht, und man vermindert diesen Ueberschuß durch »Herausnehmen von Dråhten allmålig, so sieht man nicht die Ablenkung »durch immer kleiner werdende Ausschlåge in die entgegengesetzte durch »Null übergehen, sondern man sieht die Nadel, wie von einem schnellen »kurzen Stoße getrieben, nach der Seite des früheren Ausschlags sich be»wegen, dann plötzlich anhalten und im Sinne des andern Stromes weit »langsamer zurückgehen. Diese zuckende Bewegung findet auch dann »noch statt, wenn der zweite Strom bereits überwiegt, so daß dem kurzen »Stoße auf der einen Seite dann eine weitere Schwingung nach der ent»gegengesetzten folgt.«

Diese Zuckung rührt nun offenbar daher, daß der Strom, welcher durch die Eisendråhte inducirt wird, rascher verlaufend seine Wirkung zuerst auf die Nadel ausübt. Demnach aber wird das »galvanometrische Gleichgewicht« bei diesen Versuchen mit dem Differentialinductor gar nicht durch die ungestörte Ruhe der Nadel erkannt. Die Bestimmung des galvanometrischen Gleichgewichts hat also nach dieser Methode immerhin etwas Mißliches.

Auch ohne Differentialinductor lassen sich die eben besprochenen Resultate im Wesentlichen nachweisen. Mit einer Inductionsspirale von $1\frac{1}{2}$ Millimeter dickem Draht (die Långe desselben ist mir unbekannt) erhielt ich beim Oeffnen und Schließen des Hauptstroms an einen Multiplicator folgende Ablenkungen durch den Inductionsstrom:

Ohne Einschiebung	$6{,}5^0$
Mit einem Bündel dünner Eisendråhte (1^{mm} dick, gefirnißt)	45^0
Mit einem Bündel dicker Eisendråhte (1 Linie Dick, gefirnißt)	48^0
Mit einem massiven Eisenkern	63^0

Der Hauptstrom war durch ein kleines Daniell'sches Element erzeugt worden. Bei rasch auf einander folgenden Schließungen und Oeffnungen des Hauptstromes waren ohne Einschiebung die Schlåge, selbst bei befeuchteten Hånden, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einschiebung des massiven Eisenstabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stårke durch 2 Personen, nach Einschiebung des Bündels dickerer Dråhte durch 4, während das Bündel dünner Dråhte die Schlåge in gleicher Stårke in einer Kette von 5 Personen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eisenståbchen geben, in die Spirale eingeschoben, eben so starke Schlåge wie der massive Eisenstab, bei physiologischer Gleichheit waren aber die galvanometrischen Wirkungen sehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Ståbchen 28^0

für die 5 dickeren Stäbchen 36°
für den massiven Eisenstab 63°

Mit einer andern Inductionsspirale, welche aus 1800 Fuß eines nur 1mm dicken Drahtes gebildet war, zeigten sich die galvanometrischen Effecte bei weitem schwächer (ohne Einschiebung von Eisen höchstens 2°, bei eingeschobenem massivem Eisenstab 20°), während die physiologischen Effecte viel kräftiger waren.

Aus den obigen Versuchen Dove's geht auch hervor, daß das graue Roheisen sich in seinen inducirenden Wirkungen dem Drahtbündel am meisten anschließt; man hätte demnach dasselbe als eine Substanz anzusehen, in welcher das magnetisirbare Eisen kein zusammenhängendes Continuum bildet.

Im Magnetisiren von Stahlnadeln zeigte sich der durch die Drahtbündel, im Magnetisiren von weichem Eisen der durch den Eisenstab inducirte Strom überwiegend.

Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls aber auch bei den plötzlichsten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Versuchen mit Reibungselektricität weiß, daß durch Abgleichen eines gleich großen elektrischen Gegensatzes sehr verschiedene Wirkungen entstehen, je nach der Dauer dieses Abgleichens, indem eine rasche Entladung Schläge, eine langsame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, so kann dies Resultat als ziemlich entscheidend für die Annahme gelten, daß in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine bestimmte Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit sich durch den Draht bewegt, als wenn dieselbe durch einen massiven eisernen Cylinder in Bewegung gesetzt wird.

Eiserne Röhren, wie ein Flintenlauf, eine Blechröhre u. s. w., zeigten in Beziehung auf die Inductionsströme (Nebenströme) ein ähnliches Verhalten, wie es bereits Sturgeon und Magnus für den Gegenstrom (Extrastrom) ermittelt hatten.

Der durch den Schließungsdraht einer Thermosäule inducirte Strom verhält sich genau so, wie der durch den Schließungsdraht einer galvanischen Kette hervorgebrachte; das gleiche Resultat erhielt Dove auch für den Strom einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine.

Ströme, inducirt durch Eisen, welches durch Entladung einer elektrischen Batterie elektromagnetisirt wurde. Die Untersuchungen, welche Dove über den Inductionsstrom der Leidner Flasche anstellte, können erst hier abgehandelt werden, weil sie mit dem eben besprochenen in naher Beziehung stehen. — Für Reibungselektricität construirte 255

Dove einen besondern Differentialinductor, nach dem oben angegebenen Princip, bei welchem aber ganz besondere Sorgfalt auf gehörige Isolation der Drähte verwendet worden war. — Bei kreuzweiser Verbindung der Nebenspiralen findet natürlich Stromgleichheit statt, welches Prüfungsmittel man auch anwenden mag, so lange die Spiralen leer bleiben; dieses Gleichgewicht wird aber sogleich aufgehoben, sobald ein Metall in eine der Spiralen eingeschoben wird; der dann hervortretende Strom wirkt aber nicht auf die Galvanometornadel; er giebt, auf Jodkalium geprüft, keine chemische Zersetzung, und magnetisirt weiches Eisen nicht in der Weise, daß eine danebenstehende Magnetnadel abgelenkt würde, oder darauf gestreute Eisenfeile sich aufrichtete.

Die physiologische Wirkung eines durch den Schließungsdraht der Batterie im Nebendraht inducirten Stroms wird durch Einschieben von Stäben aller nicht magnetischen Metalle geschwächt, und zwar um so mehr, je besser leitend das Metall ist. Bei vorher compensirten Spiralen erhält man daher desto stärkere Erschütterungen, je besser leitend das in eine derselben hineingelegte Metall ist. Der nach der Methode von Rieß durch die Harzfiguren geprüfte Strom geht dabei von den leeren Spiralen aus, die hervortretende Erschütterung ist also eine Folge des schwächenden Einflusses des eingeführten Metalls.

Aufgeschlitzte Metallröhren wirken nicht in dieser Weise schwächend.

Cylinder von Schmiedeeisen, Stahl, Gußeisen so wie auch Röhren von Eisenblech, welche nicht aufgeschlitzt sind, schwächen ebenfalls die physiologische Wirkung des Stromes.

Die physiologische Wirkung wird hingegen verstärkt durch aufgeschlitzte eiserne Röhren und besonders durch gut isolirte Drahtbündel von Eisen. Ein in den Handgelenken fühlbarer Schlag der gleichartig verbundenen Nebenspiralen ging bei Einführung zweier solcher Drahtbündel bis in die Hälfte des Oberarms, während er durch Einführung zweier Cylinder von Schmiedeeisen so geschwächt wurde, daß er nur in den Vorderhänden bemerkbar war.

Hier zeigte sich also ein wesentlicher Unterschied in der inducirenden Wirkung des Eisens, je nachdem dasselbe durch den Strom einer galvanischen Kette oder den Entladungsstrom einer Leidner Flasche magnetisirt wird. Die inducirende Wirkung des spiralförmigen Schließungsdrahtes einer galvanischen Kette auf einen Nebendraht wird nämlich stärker, wenn Eisen in beliebiger Form in denselben hineingelegt wird, während der Schließungsdraht einer Leidner Flasche schwächer inducirend auf den Nebendraht wirkt, wenn eine massive Eisenstange in ihn hineingelegt wird, als wenn er leer ist, hingegen stärker, wenn dies Eisen in Form eines Drahtbündels angewendet wird.

In Beziehung auf das Magnetisiren von Stahlnadeln durch den Inductionsstrom sind die Erscheinungen ganz dieselben, der primäre Strom mag durch galvanische Elektricität oder durch Reibungs-elektricität hervorgebracht seyn, und es findet hier nicht der Unterschied statt, welcher in Beziehung auf die physiologischen Effecte sich zeigt.

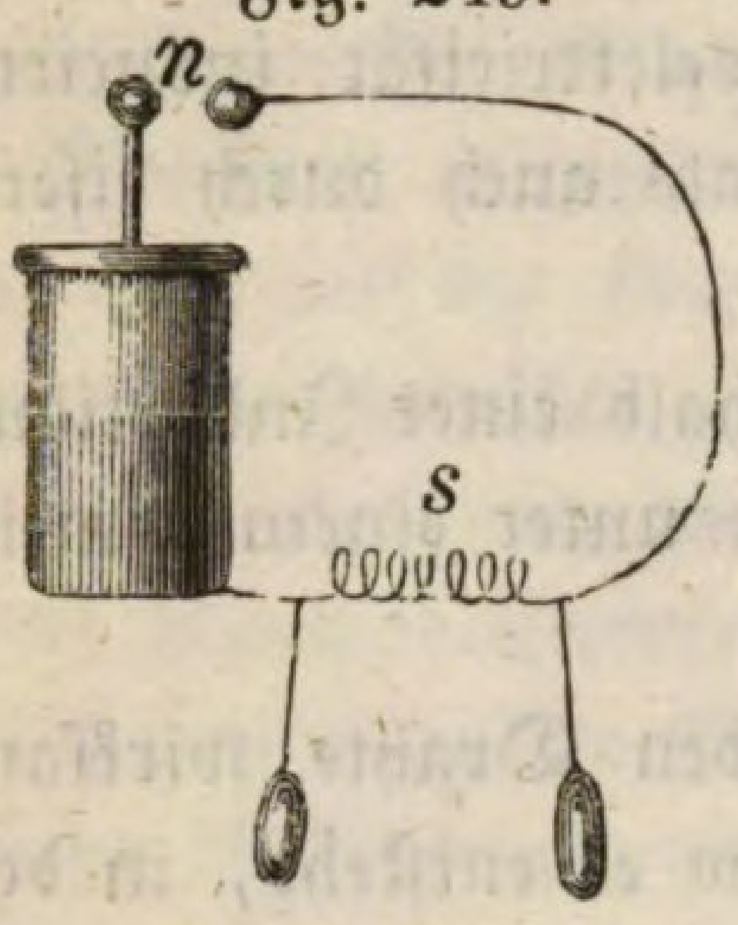
Die thermischen Effecte des durch Reibungselektricität inducirten Stromes werden sowohl durch massive Eisenstäbe als auch durch eiserne Drahtbündel geschwächt.

Die verschiedenen Effecte, welche das Eisen innerhalb einer Inductions-spirale hervorbringt, faßt Dove in folgender Weise unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt zusammen.

»Der in einem, das Eisen spiralförmig umgebenden Drahte wirksame »primäre elektrische Strom erzeugt im Momente, wo er entsteht, in dem »Eisen elektrische Ströme, während seiner Dauer magnetische Polarität, »welche sich langsamer steigert als jener Strom, im Moment seines Auf-»hörens wiederum einen elektrischen Strom. Der beim Aufhören des pri-»mären Stromes erzeugte zweite elektrische, mit dem primären gleichge-»richtete Strom wirkt dem durch den Magnetismus erzeugten entge-»gen. — Hatte, wie es beim galvanischen Magnetisiren der Fall ist, der »Magnetismus während der längeren Dauer des Stromes Zeit sich zu »entwickeln, so überwiegt die Wirkung desselben die entgegengesetzte des »bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektrischen Stromes. »Alle gegen die Bildung elektrischer Ströme angewandten Mittel steigern »daher nur eine vom massiven Eisen bereits auch ausgeübte Wirkung. »Ist hingegen der primäre Strom so schnell vorübergehend, wie der einer »sich entladenden elektrischen Batterie, hatte also der Magnetismus nicht »Zeit sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt der bei dem Aufhören »des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des verschwin-»denden Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch »Auflösen der Masse in Drähte, kehrt daher hier die Wirkung völlig um, »indem es den Ausschlag erst auf Seiten des verschwindenden Magnetis-»mus bringt, der vor dieser Trennung auf Seiten der elektrischen Ströme »war. — Die Gleichgewichtsgränze beider ist aber für die ther-»mischen, physiologischen und magnetischen Wirkungen nicht »dieselbe, weil nämlich die Abhängigkeit jeder einzelnen derselben von der »Intensität des verschwindenden Magnetismus eine andere seyn wird, als »ihre Veränderung durch den entgegenwirkenden elektrischen Strom; für »die magnetisirenden Wirkungen waltet daher noch die Wirkung des ver-»schwindenden Magnetismus vor, wenn für die thermischen hingegen »der elektrische Strom überwiegt und die physiologischen Erscheinun-»gen auf beide Seiten dieser Gränze fallen.«

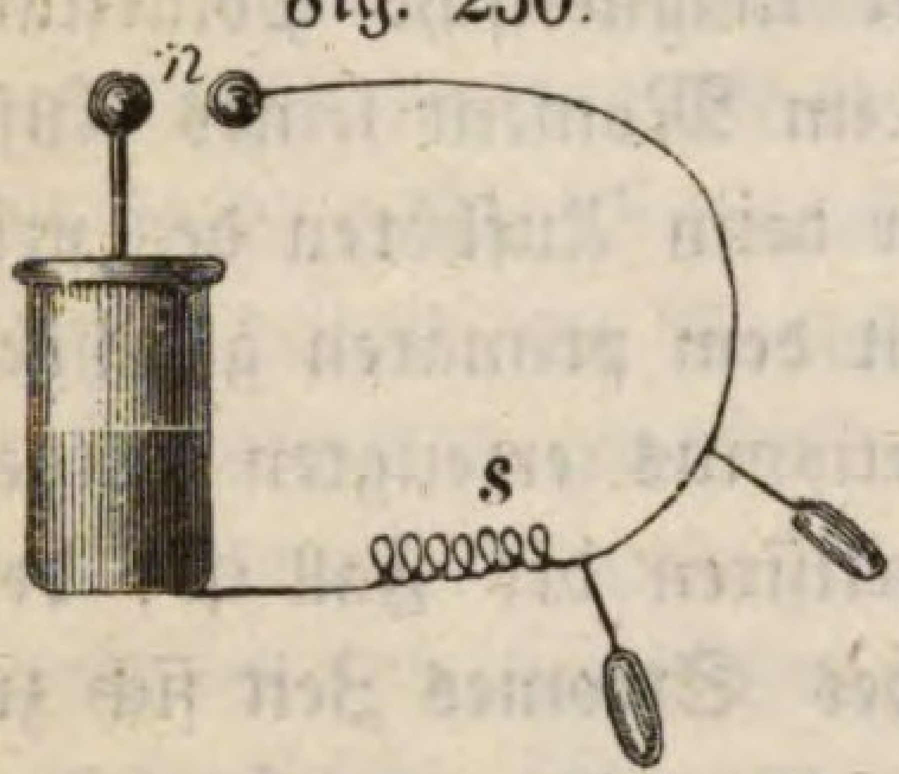
256 **Extrastrom für Reibungselektricität.** Auch diesen hat Dove experimentell nachgewiesen, und zwar auf folgende Weise. In dem Schließungsbogen der Leidner Flasche ist der spiralförmig gewundene Draht *s* Fig. 249 eingeschaltet. Ist nun eine Nebenschließung, die mittelst der Handhaben durch den Körper in der Weise angebracht wird, wie es Fig. 249 zeigt, so erhält man in dem Moment, in welchem ein Funke bei *n* überspringt, eine Erschütterung, welche ausbleibt, wenn die Nebenschließung wie in Fig. 250 angebracht ist. Im erstern Falle ist der spiralförmige Theil des Schließungsdrahtes durch den Körper geschlossen, im letztern nicht.

Fig. 249.



Wird bei der Anordnung Fig. 249 ein Bündel Eisendraht in die Spirale gelegt, so wird der Schlag dadurch verstärkt.

Fig. 250.



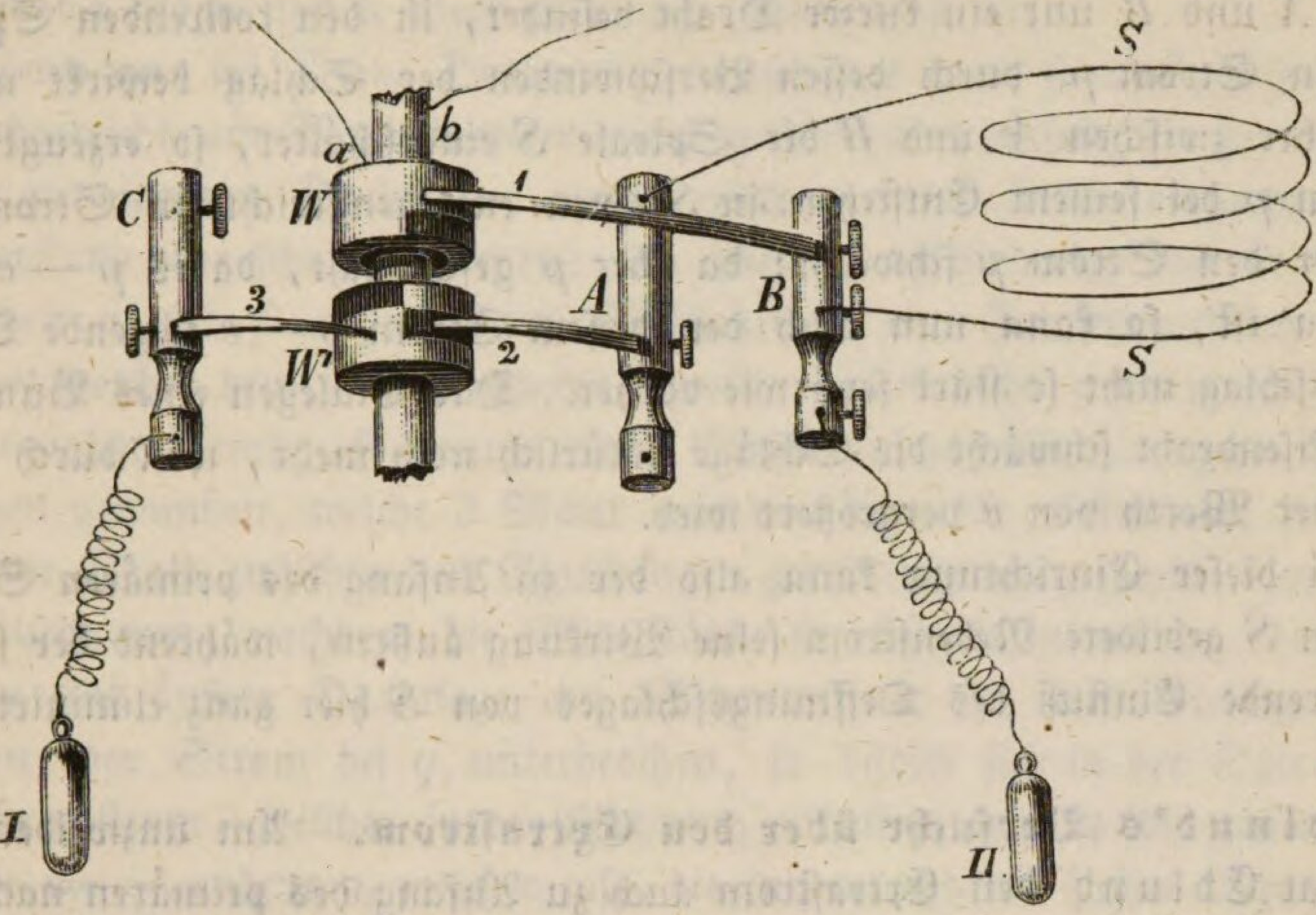
257 **Gegenstrom zu Anfang und zu Ende eines primären.** Nach Faraday's Ansicht, soll sich, der Induction an einem Nebendraht analog, bei Schließung eines Volta'schen Elementes durch einen langen spiralförmig gewundenen Draht ein Gegenstrom (Extrastrom) bilden, welcher dem primären entgegen wirkt, also seine Wirkung schwächt, während beim Oeffnen der Kette ein dem primären gleichgerichteter Extrastrom sich bildet, weshalb denn auch der Oeffnungsschlag und der Oeffnungsfunke kräftig sind, während beim Schließen der Kette keine positive Wirkung zu verspüren ist.

Die Existenz des bei der Schließung der Kette sich bildenden Gegenstroms ist erst von Dove auf experimentellem Wege genügend nachgewiesen worden. (P. A. LVI, 251.)

Er wandte zu diesem Zweck als primären Strom den einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine an, von welcher die zum Verständniß nothwendigen Theile Fig. 251 abgebildet sind. Auf der Rotationsaxe sind zwei eiserne Walzen angebracht, *W* von der eisernen Axe isolirt, *W'* unmittelbar auf derselben sitzend. Bei *a* ist das eine, bei *b* das andere Drahtende der Inductionsrollen befestigt, so daß also *W* gleichsam den einen, *W'* den andern Pol der rotirenden Drahtrollen bildet. Auf der ganz metallischen Oberfläche von *W* schleift die Metallfeder 1, auf *W'* schleifen die Federn 2 und 3. Nun aber befindet sich auf *W'* ein Holzeinsatz, welcher so gestellt ist, daß die Feder 2 auf denselben kommt, wenn die Verbindungslinie der beiden rotirenden Rollen rechtwinklig steht auf

der Verbindungslinie der beiden Pole; die Feder 3 ist mit W' beständig in metallischer Verbindung.

Fig. 251.



Zwischen den Ständern A und B ist entweder ein kurzer dicker Draht oder eine Spirale S eingeschaltet, welche aus einem langen dünnen übersponnenen Drahte gebildet ist, und in deren Höhlung man Bündel von Eisendrähten hineinlegen kann.

In die Ständer B und C sind die Handhaben I und II eingeschraubt.

Während der Rotation des Ankers von 0 bis 90°, d. h. von der horizontalen Stellung vor den Polen des Magneten bis zur lothrechten, senkrecht auf die Verbindungslinie derselben sind die rotirenden Spiralen vollkommen metallisch geschlossen; der Strom geht von W durch die Feder 1 auf den Ständer A, von da durch den kurzen Draht oder die Spirale S über B durch 2 nach W'. Sobald aber die Feder 2 auf den Holzeinsatz kommt, ist diese Circulation unterbrochen, der Oeffnungsschlag der rotirenden Spiralen geht nun durch die von dem menschlichen Körper zwischen I und II gebildete Nebenschließung, während die Spirale S ganz ausgeschaltet ist, der Oeffnungsstrom der Spirale S ist also ausgeschlossen, während der Schließungsstrom derselben seine Wirkung äußern kann.

Faßt man I und II in die Hände, so fühlt man die Schläge am heftigsten, wenn A und B nur durch einen kurzen dicken Draht verbunden sind, wenn also die Spirale S gar nicht da ist. — Wird der kurze Verbindungsdraht durch die Spirale S ersetzt, so sind die Schläge schwächer, noch schwächer, wenn in die Spirale S ein Bündel von Eisendraht eingeschoben wird.

Daraus ergiebt sich nun, wenn ich Dove's Auseinandersetzung richtig

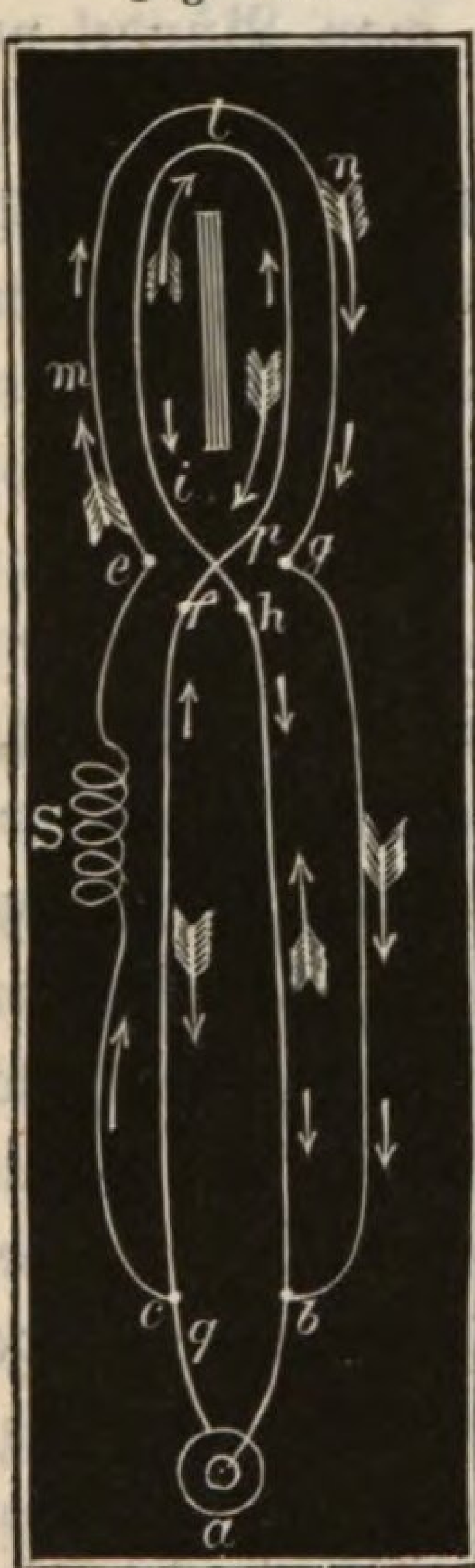
aufgefaßt habe, die Existenz des Gegenstroms zu Anfang des primären auf folgende Weise:

Durch die Rotation vor den Magnetpolen bildet sich, wenn sich zwischen *A* und *B* nur ein kurzer Draht befindet, in den rotirenden Spiralen ein Strom *p*, durch dessen Verschwinden der Schlag bewirkt wird. Ist aber zwischen *A* und *B* die Spirale *S* eingeschaltet, so erzeugt der Strom *p* bei seinem Entstehen in *S* einen entgegengerichteten Strom *e*, welcher den Strom *p* schwächt; da aber *p* geschwächt, da es $p - e$ geworden ist, so kann nun auch der diesem Strom $p - e$ folgende Oeffnungsschlag nicht so stark seyn wie vorher. Das Einlegen eines Bündels von Eisendraht schwächt die Schläge natürlich noch mehr, weil durch dasselbe der Werth von *e* vergrößert wird.

Bei dieser Einrichtung kann also der zu Anfang des primären Stromes in *S* gebildete Nebenstrom seine Wirkung äußern, während der sonst maskirende Einfluß des Oeffnungsschlages von *S* hier ganz eliminirt ist.

258 **Edlund's Versuche über den Extrastrom.** Am unzweideutigsten hat Edlund den Extrastrom auch zu Anfang des primären nachgewiesen. (P. A. LXXVII, 161.) Der Apparat, den er zu diesem Zwecke anwandte, hat folgende in Fig. 252 schematisch dargestellte Einrichtung. *a* ist eine galvanische Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* führen; von hier führen wieder vier Drähte *bg*, *bh*, *cf* und *ce* zu den Drahtenden zweier Drahtlagen von übersponnenem Kupferdraht, welche ein Magnetometer umgeben und von denen jede für sich eine geschlossene Leitung von mehreren parallel neben einander liegenden Drahtwindungen bildet *emng* stellt die äußere, *fplih* die innere Drahtlage dar. Die Verbindung ist, wie man leicht übersieht, von der Art, daß der Strom, welchen die Batterie *a* liefert, sich bei *c* und *b* theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengesetzter Richtung durchläuft, so daß bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung des Magnetometers durch den primären Strom der Kette *a* entstehen kann. In unserer Figur ist der Verlauf des durch den Elektromotor *a* direct erzeugten Stromes durch die ungeflügelten Pfeile ⟶ dargestellt.

Fig. 252.



Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, wodurch die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geschlossen werden konnte. Um dem

Hauptstrom eine entgegengesetzte Richtung geben zu können, war in die Leitung cab ein Commutator eingeschaltet. Das Magnetometer war mit einem Spiegelapparat versehen und wurde mit einem Fernrohr beobachtet, wie es bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist.

Wenn nun bei S eine Drahtrolle eingeschaltet wird, so muß, wenn das Gleichgewicht am Magnetometer nicht gestört werden soll, in die Zuleitung zur inneren Drahtlage, etwa zwischen c und f, ein entsprechender Widerstand eingeschaltet werden; um aber zu verhindern, daß in dieser zwischen c und f angebrachten Einschaltung ein Inductionsstrom entstände, welcher dem in S erzeugten, welcher untersucht werden soll, entgegenwirken könnte, so wurde dieser Einschaltungsdraht über zwei Glasstangen gewunden, welche 3 Meter weit von einander abstanden, so daß also der Draht zwischen den Glasstangen geradlinig ausgespannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerstände so abgeglichen waren, daß die innere und äußere Drahtlage am Magnetometer sich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei q unterbrochen, so bildete sich in der Spirale S ein Extrastrom, welcher in der Richtung circulirt, wie es die gefiederten Pfeile ⟶ andeuten, welcher also, die innere und die äußere Drahtlage in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnetometerstab ablenken muß.

Wird die Kette wieder geschlossen, so muß das nämliche Verhältniß stattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schließung in S inducirte Extrastrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterschied statt, daß ein Theil des Inductionsstroms durch die Leitung cab strömt.

Aus dem Ohm'schen Gesetze läßt sich aber ableiten, daß die Einwirkung des bei S inducirten Stroms auf den Magnetometerstab die nämliche bleibt, wenn auch ein Theil desselben durch die Leitung cab geht. — Denken wir uns, der Widerstand dieser Leitung sey gleich Null, so geht der ganze Inductionsstrom nur durch die äußere Drahtlage, gar nicht durch die innere; der durch die äußere Drahtlage gehende Strom wird aber eine bestimmte Ablenkung A bewirken; wäre dagegen der Widerstand von cab unendlich groß, so wird der Strom jetzt nur die beiden Drahtlagen mit ihren Zuleitungsdrähten zu durchlaufen haben; bei gleicher elektromotorischer Kraft in der Inductionsspirale ist jetzt der zu überwindende Leitungswiderstand doppelt so groß als im vorigen Fall, die Stromstärke also halb so groß, die halb so große Stromstärke durchläuft aber jetzt in gleicher Richtung beide Drahtlagen, die Einwirkung auf die Magnetnadel ist also in beiden Fällen gleich; daß dasselbe aber auch für jeden endlichen Werth des Leitungswiderstandes von cab der Fall ist, ergiebt sich nach dem Ohm'schen Gesetz folgendermaßen. Der Schließungsstrom der

Spirale gelangt von S nach c und theilt sich hier in zwei Aeste, $cfplhb$ und cab. Es sey R der Widerstand des ersteren, W der des letzteren, so ist der Gesammtwiderstand, welchen der Strom auf dem Wege von c bis b zu überwinden hat, $\frac{RW}{R+W}$; der Strom hat aber, von b über n und m nach S zurückkehrend, nochmals den Widerstand R zu überwinden, die Stärke des Stromes, welche durch die äußere Drahtlage $gnme$ geht, ist also

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}$$

wenn E die elektromotorische Kraft bezeichnet, mit welcher die Spirale S den Strom inducirt. Auf den Magnetometerstab wirkt aber nicht allein die äußere Drahtlage, sondern auch die innere; diese ist aber von einem Strome durchflossen, dessen Stärke

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}} \cdot \frac{W}{R+W}$$

ist, mithin können wir die Gesammtwirkung auf den Stab proportional setzen

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)=\frac{E}{R\left(1+\frac{W}{R+W}\right)}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)$$
$$=\frac{E}{R}.$$

Die Wirkung auf den Magnetstab ist also von W, der Größe des Leitungswiderstandes cab, unabhängig, und zwar gerade so groß, als ob zwischen cab gar keine leitende Verbindung vorhanden wäre, wie dies bei dem Oeffnungsstrom wirklich der Fall ist.

Bei Anstellung der Versuche ergab sich nun, daß der Ausschlag des Magnetometers beim Schließen der Kette gleich und entgegengesetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entsteht, und daraus ergiebt sich, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvanischen Kette mittelst einer Drahtspirale durch die Einwirkung des Stromes auf sich selbst entstehenden Inductionsströme gleich groß sind, wenn die inducirende Stromstärke in beiden Fällen dieselbe ist.

Edlund wiederholte diese Versuche mit 1, 2 und 3 Grove'schen Bechern, die er zur Erzeugung des primären Stromes anwandte, und fand, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvanischen Kette durch Einwirkung des Stromes auf sich selbst entstehenden

Inductionsströme der inducirenden Stromstärke proportional sind.

Classification der elektrischen Ströme. Dove hat seine Unter- 259
suchungen über Inductionselektricität, welche theilweise in Poggendorff's Annalen erschienen sind, in einer Abhandlung zusammengestellt, welche in der Akademie der Wissenschaften zu Berlin gelesen wurde, und von welcher ein besonderer Abdruck unter dem Titel: »Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität« bei Reimer in Berlin im Jahre 1842 erschien. Am Schlusse dieser Abhandlung ordnet nun Dove die verschiedenen elektrischen Ströme nach der Zeitdauer, in welcher eine gegebene Elektricitätsmenge ausgeglichen wird. Beschränken wir uns nun auf die wichtigeren, so ist die Ordnung folgende:

1). Strom der sich entladenden Leidner-Flasche nebst ihrem Gegen- und Nebenstrome; der durch ein Bündel von Eisendrähten inducirte Strom, wenn dasselbe durch eine elektrische Flaschenbatterie elektromagnetisirt worden war. — Bei starker physiologischer Wirkung afficiren sie ohne Verzögerung des Stromes die Galvanometernadel nicht.

2) Ströme, inducirt durch massives vermittelst Reibungselektricität magnetisirtes Eisen.

3) Ströme, durch Drahtbündel inducirt, wenn der magnetisirende Strom ein galvanischer, magnetoelektrischer oder thermoelektrischer ist.

4) Ströme, durch massives Eisen inducirt, wenn die primären Ströme, welche es elektromagnetisiren, von den eben genannten Quellen sind.

5) Strom einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine.

6) Strom der geschlossenen Hydro- oder Thermokette.

»In der Geschichte der Wissenschaft,« sagt Dove am Schlusse, »ist »das Anfangs- und Endglied dieser Reihe zuerst bekannt geworden. Sie »standen so weit auseinander, daß man an ihrer Identität zweifelte. Jetzt, »wo durch die Inductionserscheinungen eine Menge Mittelglieder gegeben »sind, ist die Abstufung so allmälig geworden, daß irgendwo eine Gränze »zu ziehen eine vollkommene Willkür seyn würde.«

So ist denn durch die eben besprochenen Untersuchungen unsere Kenntniß von den inducirten Strömen bis zu einem Punkte geführt worden, wo genaue Maaßbestimmungen das nächste Erforderniß zu weiteren Fortschritten auf diesem Felde sind; zunächst handelt es sich um genaue Bestimmung der Stromstärke und Zeitdauer inducirter Ströme, wozu die auf Seite 659 besprochene Weber'sche Methode ein treffliches Mittel bietet, und ihrer Abhängigkeit von der Anzahl der Windungen, Spiralen, ihrem Leitungswiderstand u. s. w.

260 **Elektrische Spannungserscheinungen und Funken an ungeschlossenen Inductionsspiralen.** Wenn man bedenkt, wie nach dem Vorhergehenden die Inductionsströme gewissermaßen ein Mittelglied bilden zwischen den galvanischen Strömen und den Entladungsströmen der Leidner Flasche, so läßt sich wohl erwarten, daß sich an den Enden einer geöffneten Inductionsspirale auch Spannungserscheinungen in weit höherem Grade zeigen müssen, als dies an den Polen einer nicht geschlossenen galvanischen Säule der Fall ist, bei welcher die Funken erst dann auftreten, wenn die Anzahl der Paare, aus welchen die Batterie zusammengesetzt ist, so enorm vermehrt wird, wie es bei Gassiot's Wasserbatterie (S. 422) der Fall ist. Sinsteden hat nun elektrische Spannungserscheinungen und selbst elektrische Funken an ungeschlossenen Inductionsspiralen wirklich hervorgebracht. (P. A. LXIX, 353.)

Um die Spannungserscheinungen an einer elektromagnetischen Inductionsrolle nachzuweisen, wandte Sinsteden folgende Vorrichtung an. Die Magnetisirungsspirale, welche den Strom der galvanischen Kette leitete, war auf ein 5 Zoll langes und $^5/_4$ Zoll weites Holzrohr gewickelt; sie bestand aus dickem Draht. Die rasch auf einander folgenden Unterbrechungen des Stromes wurden durch ein sogenanntes Blitzrad hervorgebracht, welches in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet war.

Diese Spirale wurde mit Wachstaffet umgeben und darauf eine Inductionsspirale von 3280 Fuß $^1/_4$ Linie dicken Kupferdraht gewickelt. Die beiden Drahtenden standen ungefähr $1^1/_2$ Fuß frei vor und konnten mittelst eines isolirenden Glasstabes an das Elektrometer gebracht werden. In der Höhlung der den Hauptstrom leitenden Spirale befand sich in einer Glasröhre ein 6 Zoll langes, aus isolirten Eisendrähten bestehendes Bündel von 1 Zoll Durchmesser.

Wenn durch Drehung des Blitzrades der Hauptstrom abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, so gab jedes der ungeschlossenen Enden der Inductionsspirale nicht nur am Elektrometer starke Elektricität kund, sondern jedes dieser Enden gab für sich auch Funken, wenn ihm ein Leiter genähert wurde, und verursachte, in Berührung mit der Haut, ein empfindliches Brennen. Alle diese Erscheinungen wurden bedeutend verstärkt, wenn das gerade nicht untersuchte Ende der Inductionsspirale zur Erde abgeleitet war.

Die Funken der Inductionselektricität lassen sich am leichtesten zeigen, wenn man die freien Enden der Inductionsspirale bei gehöriger Isolirung einander ganz nahe bringt; wird der Stromunterbrecher des Hauptstroms rasch gedreht, so sieht man an dem kleinen Zwischenraum, welcher die Enden der Inductionsspiralen noch trennt, beständig Fünkchen überschlagen.

Aber nicht allein die Drahtenden der Inductionsspirale, sondern auch das Eisendrahtbündel zeigte Spannungselektricität. Befestigte man einen isolirten Eisendraht an das vom Glascylinder umgebene Eisendrahtbündel, und führte ihn an das Elektrometer, so divergirten die Goldblätter sehr stark. Näherte man dem Eisendrahtbündel einen spitzigen Leiter, so schlugen unaufhörlich glänzende Fünkchen über. Berührte man eine spitzige Kante des Eisendrahtbündels mit einer empfindlichen Hautstelle, so fühlte man hier ein schmerzhaftes Brennen.

Alle diese Erscheinungen fanden mutatis mutandis auch dann statt, wenn die besondere Schließungsspirale ganz beseitigt war und der Strom der galvanischen Kette durch die 3280 Fuß lange Spirale selbst geleitet und unterbrochen wurde. Im Moment der Unterbrechung des Stromes zeigte jedes Ende der Spirale, so wie das Eisendrahtbündel, jedes für sich Funken, elektrometrische und physiologische Erscheinungen. Auch zeigten sich diese Erscheinungen an den Enden der Spirale, wenn statt des Eisendrahtbündels ein massiver Eisenkern oder auch gar kein Eisenkern in der Spirale steckte; nur waren sie schwächer

Faßte man mit der einen Hand das Drahtende der Inductionsspirale, welches die äußersten Windungen macht, und welches mit *A* bezeichnet werden mag, berührte man mit der anderen Hand das eine oder andere Ende der Schließungsspirale, so empfand man ganz merkliche Erschütterungen, die sich bis in das Handgelenk erstreckten. Diese Erschütterungen sind, wie auch Sinsteden bemerkt, bereits von Masson und Breguet beobachtet worden (Archives de l'électricité 1842. p. 381). Faßte man das andere der Schließungsspirale zunächst liegende Ende der Inductionsspirale, welches *B* heißen mag, mit einer Hand und mit der anderen ein Ende der Schließungsspirale, so fühlte man nicht nur kein Zucken, sondern auch das Brennen, welches das Ende *B* für sich allein verursachte, hörte auf.

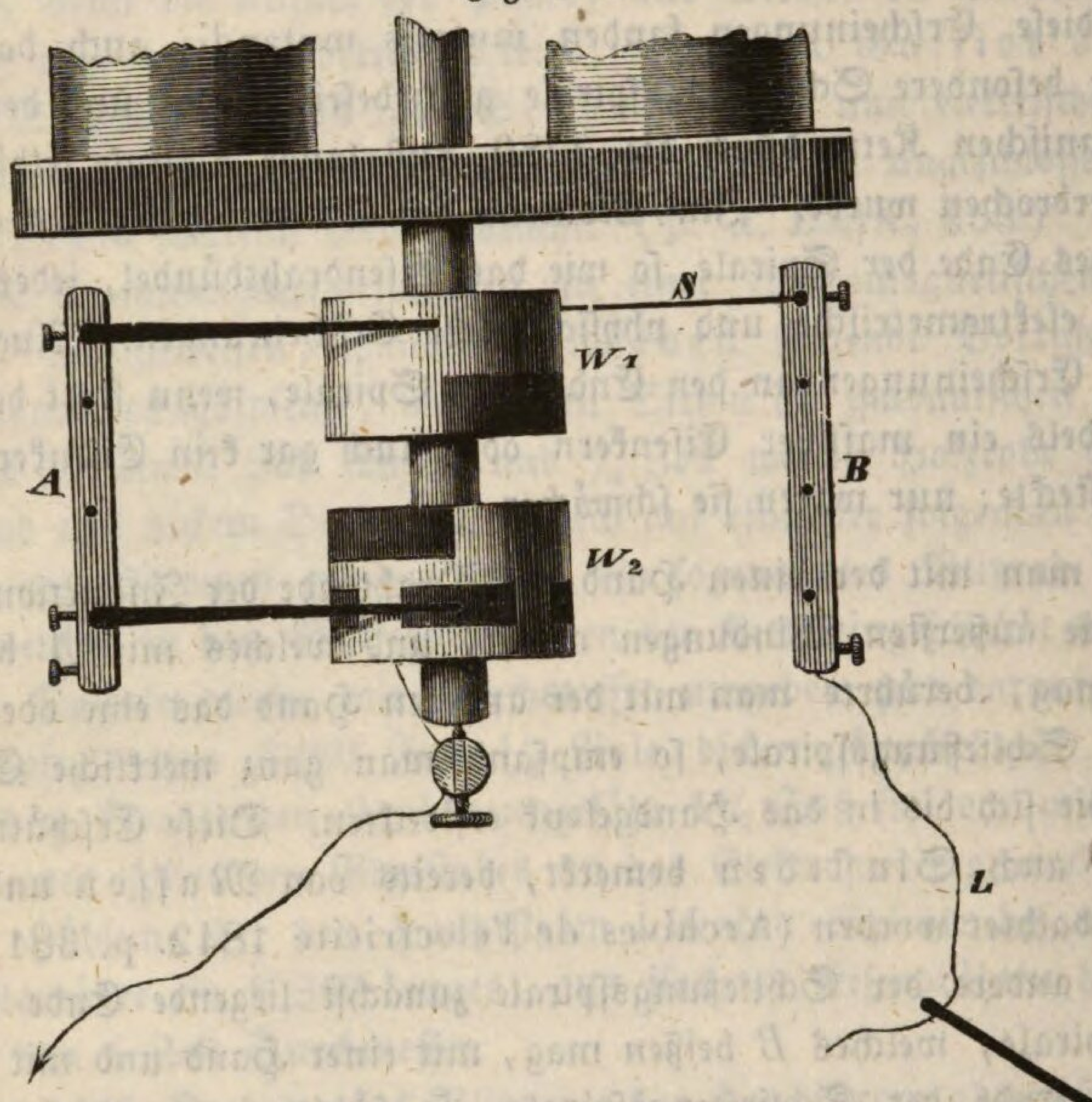
Auch an der magnetoelektrischen Rotationsmaschine hat Sinsteden ähnliche Funken und elektroskopische Effecte hervorgebracht. Der von ihm angewandte Apparat war ein Oertling'scher, an welchem für diesen Zweck besser für Isolation gesorgt war, als dies gewöhnlich bei solchen Apparaten der Fall ist. Die ganze Maschine stand auf 4 Scheiben von Gummi-Elasticum, welche ½ Zoll dick waren. Die Ständer, welche die auf den Polwalzen schleifenden Federn tragen, erhielten 3 Zoll hohe, mit Schellack überzogene Glasfüße. Auf die Magnetpole war ein Stück Wachstaffet geklebt, die den Magnetpolen zugekehrten Enden der Eisendrahtbündel (welche bei dieser Maschine die Stelle der gewöhnlich in den rotirenden Spiralen befindlichen massiven Eisenkerne ersetzten), welche

1½ Linien weit von den Magnetpolen entfernt rotirten, waren mit einer dicken Lage von Schellack überzogen.

Endlich wurde die Holzscheibe, durch welche die Maschine in Bewegung gesetzt wird, mit einem gläsernen gefirnißten Handgriffe versehen.

Von den Versuchen Sinsteden's mit dem so vorgerichteten Apparate wollen wir folgende als die wichtigsten hervorheben: In den isolirten Ständer *A* (Fig. 253) wurden zwei einfache Federn eingespannt; die

Fig. 253.



eine schleifte auf der Walze W^1 beständig auf Metall, die zweite traf bei jeder Umdrehung des Inductors 4mal auf einen Horneinsatz der anderen Walze W^2. Jeder Horneinsatz nahm den sechsten Theil des Umfangs der Walze ein, so daß also die Spirale bei einer Umdrehung 4mal auf sehr kurze Zeit geschlossen und 4mal auf etwas längere Zeit geöffnet wurde.

An dem isolirten Ständer *B* wurde ein dünner Stahldraht *S* mit scharfer Spitze so eingeschraubt, daß die Spitze der Walze W^1 beinahe berührte. Die Walze W^2 wurde mit dem Boden leitend verbunden.

Bei der Rotation des Inductors fand nun folgendes Statt. Berührten die beiden Federn des Ständers *A* das Metall auf beiden Walzen, so entstand in der Spirale ein Strom und es konnte keine freie Elektricität an den Stahldraht *S* übergehen, zumal jetzt beide Walzen und der Ständer *A*

mit der Erde in leitender Verbindung standen. Traf die intermittirende Feder auf Horn, so hörte der Strom auf, und die Kraft, welche in diesem Moment der Unterbrechung den Extrastrom zu bilden strebt, treibt nun mit großer Energie die entgegengesetzten Elektricitäten auf beide Walzen; die Elektricität der Walze W^2 ist zum Boden abgeleitet, die Walze W' aber mit dem Ständer A ist isolirt und die freie Elektricität geht von W' auf S und den Ständer B über. — Wurde jetzt ein an dem Ständer B befestigter Leitungsdraht L an den Knopf eines Goldblattelektrometers gebracht, so zeigte sich freie Elektricität auch ohne Anwendung eines Condensators; die Goldblätter blieben, so lange die Maschine bewegt und der Leitungsdraht an den Elektrometerknopf gehalten wurde, in fortwährendem Hüpfen. — Wurde das Elektroskop nur einen Augenblick mit dem Leitungsdraht L berührt, so blieben die Goldblätter 1 bis 1½ Zoll weit aus einander stehen und zeigten, mit einer geriebenen Siegellackstange geprüft, wie von selbst einleuchtet, bald positive, bald negative Elektricität.

Zwischen der Stahlspitze S und der nahe gegenüber stehenden Walze W' schlugen unaufhörlich kleine Fünkchen über. Näherte man dem am Ständer B befestigten Leitungsdraht L den Rücken der Hand oder sonst eine empfindliche Hautstelle, so schlugen Fünkchen über, die ein schmerzhaftes Stechen verursachte, ähnlich demjenigen, welches man empfindet, wenn man den Knopf einer geladenen Leidner-Flasche berührt.

Auch der Stahlmagnet zeigte jetzt starke Spannungselektricität, indem er kräftig auf das Elektrometer wirkte und eine brennende Empfindung auf einer zarten Hautstelle verursachte. Ein spitziger Leiter, welcher mit keinem Theile der Maschine in irgend einer Verbindung stand, entlockte dem Stahlmagneten Fünkchen, wenn er demselben genähert wurde.

Brachte man den Leitungsdraht L an den Magnet, so erschienen noch lebhaftere Fünkchen, woraus geschlossen werden kann, daß der Stahlmagnet stets die entgegengesetzte Elektricität von W' und B habe.

Auch mit der oben beschriebenen Stöhrer'schen Maschine kann man einige Spannungserscheinungen nachweisen. Befestigt man in den Schraubklemmen a und b zwei kurze Drähte, die man mit zugespitzten Enden fast in Berührung bringt, so sieht man, wenn der Pachytrop auf Intensität gestellt ist, beim Drehen der Maschine Fünkchen durch den kleinen Zwischenraum überschlagen Wird eine der Drahtklemmen, a oder b, zum Boden abgeleitet, von der anderen ein Leitungsdraht zu der unteren Condensatorplatte eines Goldblattelektroskops geführt, so wird der Condensator geladen, wenn man während der Umdrehung der Maschine die obere Condensatorplatte ableitend berührt. Entfernt man noch während der Drehung den Zuleitungsdraht, so divergiren die Pendel, wenn die obere

Condensatorplatte abgehoben wird. Der Ständer *a* zeigte stets positive, *b* stets negative Elektricität.

Daß man hier keine kräftigeren Spannungserscheinungen, namentlich keine Wirkung am Elektrometer ohne Condensator erhält, liegt an der mangelhaften Isolation, da die Maschine für diese Untersuchungen nicht hinlänglich isolirt ist. Wären *a* und *b* vollständiger isolirt, so würde man ohne Zweifel aus jeder dieser Drahtklemmen oder aus Drähten, welche in dieselben eingeschraubt sind, Fünkchen ziehen können, wenn die andere gehörig abgeleitet ist; ließe man die Fünkchen auf den Knopf oder die Platte eines Goldblattelektroskops übergehen, so müßte dieses auch ohne Anwendung eines Condensators divergiren. Bei gehöriger Isolirung würde ohne Zweifel eine große Stöhrer'sche Rotationsmaschine, wenn sie auf Intensität gestellt ist, sehr bedeutende Spannungswirkungen geben.

So hat denn Sinsteden durch seine interessante Untersuchung wesentlich zur Ergänzung unserer Kenntnisse von den Inductionsströmen beigetragen und von einer neuen Seite gezeigt, wie sie ein Mittelglied bilden zwischen Reibungselektricität und galvanischer Elektricität.

Schon vor der Publication der eben besprochenen Versuche Sinsteden's hat auch Dubois-Reymond die elektrische Spannung an den freien Enden ungeschlossener Inductionsspiralen durch die Zuckungen von Froschschenkeln nachgewiesen, die er mit dem Namen der unipolaren Inductionszuckungen bezeichnet und auf die wir weiter unten zurückkommen werden. Durch den Druck wurden diese Versuche von Dubois erst weit später bekannt gemacht, aber schon am 4ten April 1845 sprach er davon in einem Vortrage, den er in der physikalischen Gesellschaft zu Berlin hielt. So ist denn kein Zweifel, daß beide Gelehrte ihre Entdeckungen ganz unabhängig von einander machten, was auch schon aus dem Umstande hervorgeht, daß Beide auf ganz verschiedenem Wege zu dem Ziel gelangten, die elektrische Spannung an den freien Enden einer eingeschlossenen Inductionsspirale darzuthun. Das Verdienst des Einen wird durch die Entdeckung des Andern nicht im mindesten beeinträchtigt.

261 **Henry's Untersuchungen über Induction.** Die Untersuchungen Henry's über »elektrodynamische Induction« finden sich im 6ten Bande der Transactions of the American Philosophical Society, aus welchen sie mit Abkürzungen in Poggendorff's Annalen (Ergänzungsband von 1842, Seite 282) übergegangen sind. Die wichtigsten Resultate, welche durch diese Untersuchungen ermittelt wurden, sind folgende.

Die verschiedenen Wirkungen des Extrastromes hängen nicht in gleicher

Weise von der Länge der Spirale ab. Mit einem einfachen Element gab eine Bandspirale von 60 Fuß Länge (die Breite des Kupferblechs, aus welchem diese und die folgenden Spiralen gebildet waren, betrug $1\frac{1}{2}$ Zoll) schwache Oeffnungsfunken und keinen Schlag; eine solche Bandspirale von 93 Fuß Länge gab starke Funken und schwache Schläge; 5 Bandspiralen, zusammen 300 Fuß lang, gaben schwächere Funken, aber stärkere Schläge.

Es giebt jedoch in der Verstärkung der Schläge ebenfalls eine Gränze. Eine Rolle Kupferdraht, von $\frac{1}{16}$ Zoll Durchmesser, wurde successiv durch Zusätze von 32 Fuß langen Stücken verlängert. Nach den beiden ersten Zusätzen, also nach einer Verlängerung von 64 Fuß, fing der Glanz der Funken an abzunehmen, allein die Schläge nahmen an Stärke zu bis zu einer Drahtlänge von 575 Fuß, wo auch sie begannen schwächer zu werden.

Wendet man statt des einfachen Volta'schen Elementes eine Säule an, so werden die inductiven Effecte bei kurzen Spiralen geringer als sie bei dem einfachen Elemente waren, bei sehr langen Spiralen aber bringt eine Säule eine stärkere Inductionswirkung hervor, als ein einfaches Element.

Die eben besprochenen Beziehungen zwischen der Drahtlänge und der Stärke der verschiedenen Effecte des Extrastromes hat Henry nur im Allgemeinen, der Art nach ermittelt; eine genauere quantitative Untersuchung dieses interessanten Gegenstandes wäre sehr zu wünschen.

Bei Strömen, die durch den primären Strom in einer benachbarten Spirale inducirt wurden, ergaben sich ähnliche Resultate. Wird entweder die stromleitende Spirale oder die Inductionsspirale über eine gewisse Gränze verlängert, so nehmen die galvanischen Effecte des Inductionsstromes ab, während die Schläge verstärkt werden; aber auch hier giebt es eine weitere Gränze, über welche hinaus auch die Stärke der Schläge wieder abnimmt.

Bei vergrößertem Durchmesser des Drahtes wird auch die Gränze der Längendimensionen, bei welchen das Maximum der verschiedenen Effecte des Inductionsstroms stattfindet, weiter hinausgerückt, denn die Abnahme des Effectes bei zunehmender Länge ist nur eine Folge des vergrößerten Leitungswiderstandes; wird diese dadurch vermindert, daß man dickeren Draht anwendet, so fällt die schwächende Wirkung der Verlängerung weg.

Mit flachen Spiralen brachte Henry sehr merkliche Inductionserscheinungen hervor, wenn auch der Zwischenraum zwischen der stromleitenden und der Inductionsrolle ziemlich bedeutend war.

Ferner zeigte Henry, wie die inducirende Wirkung einer Spirale auf eine andere durch die Nähe eines guten geschlossenen Leiters geschwächt

wird. Befanden sich z. B. drei Bandspiralen über einander, von denen die unterste den primären Strom leitete, die oberste aber mit Handgriffen versehen war, so erhielt man beim Oeffnen der Kette starke Inductionsschläge aus der obersten Spirale, wenn die mittlere nicht geschlossen war, die Schläge verschwanden aber, als die mittlere Spirale gut metallisch geschlossen wurde.

Offenbar wirkt hier die inducirende Wirkung der primären Spirale zunächst auf denjenigen geschlossenen Leiter am stärksten inducirend, in welcher der Bildung von Inductionsströmen der geringste Widerstand entgegensteht.

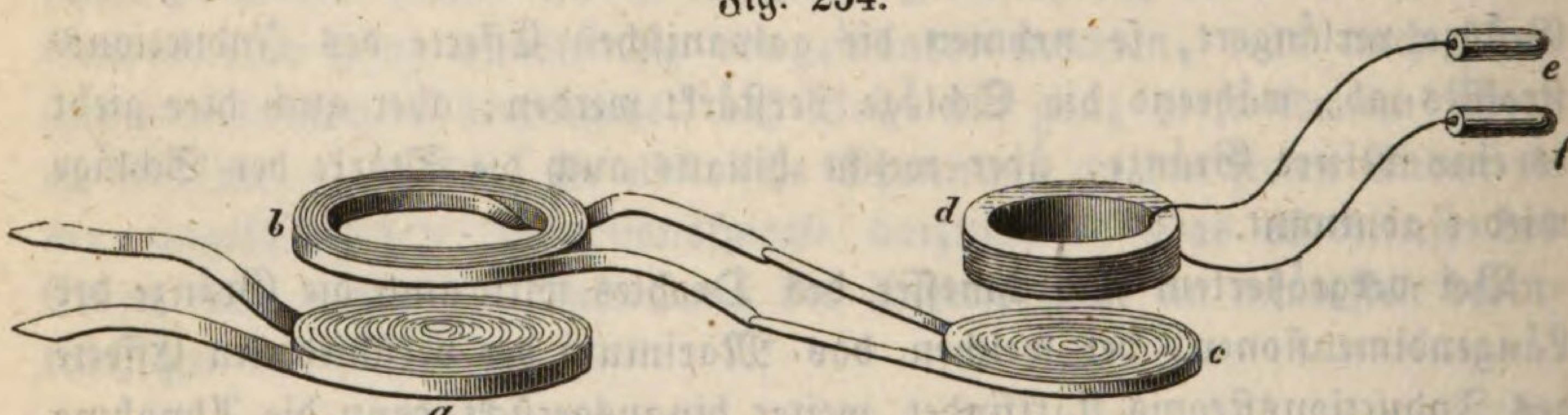
Schiebt man statt der mittleren Spirale eine gutleitende Metallplatte ein, so übt diese eine ähnliche schwächende Wirkung aus; eben so wenn sie sich nicht zwischen den beiden Spiralen, sondern über oder unter denselben befindet.

Einen solchen störenden Einfluß üben auch Hülsen von Messing aus, wenn auf sie Drahtspiralen aufgewunden sind, welche zu Inductionsversuchen dienen sollen; deshalb dürfen auch die Hülsen magnetoelektrischer Maschinen nicht von Messing seyn. — Der störende Einfluß der Metallhülsen kann bekanntlich dadurch aufgehoben werden, daß man sie aufschlitzt, weil dadurch die Bildung von Inductionsströmen in den Hülsen selbst verhindert wird.

Der wichtigste Theil der Untersuchung Henry's ist die Nachweisung von Inductionsströmen höherer Ordnung.

Der primäre Strom ging durch die 90 Fuß lange Bandspirale *a* (Fig. 254); über dieser befand sich die 60 füßige Bandspirale *b*; die

Fig. 254.



Enden von *b* waren mit denen einer dritten Bandspirale *c* verbunden, welche gleichfalls aus einem 60 Fuß langen, aber nur ¾ Zoll breiten Kupferstreifen gemacht war; da die Spirale *c* den Schließungsbogen von *b* bildet, so muß in *c* der Strom circuliren, welcher in *b* durch den Einfluß der Stromunterbrechung in *a* inducirt wird. Der Strom in *c* konnte nun außer dem Einfluß von *a* inducirend auf die Drahtrolle *d* (aus 1660 Ellen eines $^{1}/_{49}$ Zoll dicken Drahtes gebildet) wirken. In der That bekam man bei Anfassung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Resultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

Nennt man den Strom in *a* den primären, so ist der in *b* und *c* der secundäre, der in *d* endlich der tertiäre, oder es ist der Strom in *d* ein Strom dritter Ordnung, der in *b* und *c* ein Strom zweiter Ordnung, wenn der in *a* als Strom erster Ordnung bezeichnet wird.

Henry hat in gleicher Weise auch die Existenz von Inductionsströmen vierter und fünfter Ordnung nachgewiesen.

Was die Richtung der inducirten Ströme höherer Ordnung betrifft, welche beim Oeffnen des Hauptstromes entstehen, so besteht, nach Henry folgende Abwechselung:

Primärer Strom	+
Strom zweiter Ordnung . . .	+
Strom dritter Ordnung . . .	—
Strom vierter Ordnung . . .	+
Strom fünfter Ordnung . . .	—

Um die Richtung der inducirten Ströme zu bestimmen, verfuhr Henry folgendermaßen: die letzte Inductionsspirale, in Fig. 254 also *d*, wurde durch eine kleine Magnetisirungsspirale geschlossen und in diese eine Nähnadel eingeschoben. Diese Nadel wurde nun durch den Inductionsstrom, welcher beim Oeffnen des Hauptstroms entstand, magnetisirt, und aus ihrer Polarität auf die Richtung des sie magnetisirenden Inductionsstroms geschlossen.

Da jedoch diese Inductionsströme, namentlich die höhere Ordnung, nur momentan sind, so ist die Bestimmung der Stromrichtung aus dem Magnetisiren von Stahlnadeln sehr trüglich, wie wir dies bereits bei der Betrachtung der Untersuchungen von Rieß gesehen haben, was auch Poggendorff in einer Note zu dem Aufsatze Henry's bemerkt.

Endlich hat Henry auch noch die Inductionen elektrischer Ströme durch Reibungselektricität nachgewiesen, und zwar der Zeit nach noch früher als Rieß, der jedoch, als er seine Untersuchungen über Induction durch Reibungselektricität machte, noch keine Kenntniß von Henry's Arbeiten haben konnte, so daß also dieselbe Entdeckung selbstständig von beiden Physikern diesseits und jenseits des Oceans gemacht wurde. Da jedoch dieser Gegenstand bereits oben, bei Gelegenheit des Berichtes über die Rieß'schen Untersuchungen, ausführlich besprochen wurde, so kann wohl hier eine nähere Erörterung der entsprechenden Untersuchungen Henry's unterbleiben.

262 **Induction durch den Erdmagnetismus.** In dem 15ten Bande der Annales de chimie et de physique, Seite 34 befindet sich ein Abriß der Geschichte der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme von Melloni.

Ich lasse hier das Wesentlichste von dem Inhalt dieses Aufsatzes folgen, welcher den jetzigen Standpunkt unserer Kenntnisse in diesem Gebiete darlegt.

Als Faraday im Jahre 1830 die Induction elektrischer Ströme in geschlossenen Leitern durch rasche Annäherung und Entfernung von Magneten entdeckt hatte, schloß er ganz richtig, daß auch der Erdmagnetismus in einem bewegten Metallbogen elektrische Ströme induciren müsse.

Der Versuch bestätigte seine Erwartung. Ein Eisenstab von 1 Fuß Länge und $^7/_8$ Zoll Durchmesser war mit einer Spirale von Kupferdraht umgeben, deren beide Enden mit den Drahtenden eines Multiplicators leitend verbunden waren. Der Stab wurde in der Richtung der Inclinationsnadel gehalten und dann rasch im magnetischen Meridian umgedreht, so daß er mit verwechselten Enden nun dieselbe Stellung einnahm wie vorher. Dabei machte die Nadel des Multiplicators einen Ausschlag von einigen Graden, um nach einigen Schwingungen wieder auf Null zurückzukehren; dreht man nun den Stab abermals um, so entsteht ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite. Wiederholt man diese Umdrehungen des Stabes mehrmals nach einander und zwar stets wenn die Nadel im Rückgang begriffen, die Gleichgewichtslage passirt, so summirt sich die neue Wirkung mit der vorhergehenden und die Nadel wird in Schwingungen versetzt, welche einen Bogen von 150 bis 160 Graden umfassen.

In dieser Form des Versuchs ist jedoch die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus noch nicht direct nachgewiesen, denn der größte Theil des Stromes, welcher die Nadel ablenkt, wird von dem Erdmagnetismus nur indirect mittelst der Umkehrung der Polarität im Eisenstab hervorgebracht. Faraday entfernte deshalb den Eisenstab aus der Spirale und wiederholte dann die Versuche in der angegebenen Weise. Auch jetzt wurde die Nadel abgelenkt, obgleich viel schwächer als vorher; durch 10 bis 12malige Umdrehung der Spirale in den gehörigen Intervallen gelang es aber auch, einen Schwingungsbogen von 80 bis 90 Grad zu erreichen.

Diese Versuche sind in den beiden Abhandlungen beschrieben, welche Faraday über diesen Gegenstand im Jahre 1831 in den Philosophical Transactions publicirte (P. A. XXV. 91 und 142).

Kaum hatten die italienischen Naturforscher Nobili und Antinori Nachricht von Faraday's Entdeckung der Induction elektrischer

Ströme durch Stahlmagnete erhalten, als auch sie diese Versuche anstellten, um die Induction durch den Erdmagnetismus nachzuweisen, und zwar noch ehe sie die entsprechenden Abhandlungen Faraday's gelesen hatten; so haben sie diese Erscheinung gewissermaßen zum zweiten Male entdeckt.

Nachdem nun die inducirende Kraft unseres Planeten durch die Ablenkung der Magnetnadel dargethan war, kam es nur noch darauf an, Mittel zu finden, die durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme stark genug zu machen, um auch die übrigen Wirkungen elektrischer Ströme, chemische Wirkungen, Schläge, Funken u. s. w. hervorzubringen.

Faraday verfolgte aber diesen Gegenstand nicht, weil er mit anderen Untersuchungen beschäftigt war, und Nobili, welcher eine hierher gehörige Versuchsreihe begonnen hatte, mußte Italien verlassen. Kurz vor seinem Tode publicirte er jedoch mit Antinori noch eine zweite Abhandlung über die Induction durch den Erdmagnetismus, in welcher nachgewiesen wurde, daß, wenn man die Versuche ohne Eisenkerne anstellt, die Stärke der inducirten Ströme mit dem Durchmesser der Drahtwindungen zunimmt (Antologia di Firenze, Nro. 138).

Die bis dahin in verwandten Zweigen gemachten Erscheinungen benutzend, nahmen Linari und Palmieri gegen Ende des Jahres 1840 das Studium der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme wieder auf, und nach einigen Jahren machten sie der Akademie zu Paris die Anzeige, daß es Ihnen gelungen sey, mit Hülfe eines Apparates, den sie eine magneto-elektrotellurische Batterie nannten, Schläge und Wasserzersetzung zu erhalten (Comptes rendus 1843. 1er sem. p. 1442). Statt des eisernen Stabes wandten sie eine Reihe hohler eiserner Röhren an; die elektrischen Ströme, welche die Drahtwindungen durchliefen, wurden durch einen ähnlichen Mechanismus gesammelt, wie an der Clarke'schen Rotationsmaschine und konnten alsdann durch gesäuertes Wasser oder durch die Hände des Experimentators geleitet werden.

Eine zur Prüfung des Gegenstandes von der Akademie niedergesetzte Commission, zu welcher auch Melloni gehörte, fand diese Wirkungen vollkommen bestätigt. Ein Beweis, daß die beobachteten Ströme wirklich vom Erdmagnetismus inducirt waren, ergab sich daraus, daß alle Wirkungen aufhörten, wenn die Rotationsaxe der Maschine in den magnetischen Meridian gestellt wurde (vollständig kann erst die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus verschwinden, wenn die Umdrehungsaxe in der Richtung der Inclinationsnadel liegt). Obgleich die Wirkungen schwach waren, so gaben sie doch Hoffnung, daß man mittelst dieser Ströme auch noch Funken hervorbringen werde. — Linari und Palmieri erhielten

vom Gouvernement eine Unterstützung zur Fortsetzung ihrer Versuche, und in der That gelang es ihnen nach einigen Monaten, Funken an ihrem terrestrischen Inductionsapparat zu zeigen.

Die Commission erstattete auch darüber der Akademie Bericht in der Sitzung vom 23. April 1844, und sprach dabei den Wunsch aus, die genannten Physiker möchten danach streben, diese Stromwirkungen auch ohne Vermittelung von weichem Eisen nur durch die directe Inductionswirkung des Erdmagnetismus hervorzubringen. Leider konnte Linari diese Arbeiten nicht weiter fortsetzen, weil er von einer Augenkrankheit befallen wurde; Palmieri aber brachte in der That diese Wirkungen nur mit Hülfe einer rotirenden Kupferdrahtspirale hervor.

Palmieri beschreibt seinen Apparat in den Archives de l'Electricité T. V, p. 189 (P. A. LXVII, 244.); die Spirale, mit welcher er Funken, Schläge und Wasserzersetzung durch erdmagnetische Induction ohne Vermittelung von Eisen hervorbrachte, hatte 200 Windungen eines 1,5 Millimeter dicken Kupferdrahtes, welche auf einen elliptischen Rahmen gewickelt waren, dessen große Axe $2{,}2^m$, dessen kleine aber $0{,}6^m$ betrug *). Die große Axe dieser Ellipse dient, auf dem magnetischen Meridian senkrecht stehend, als Umdrehungsaxe.

Palmieri wählte die Form der Ellipse, weil, wie er angiebt, die Wirkung einer solchen Spirale größer ist als die einer kreisförmigen von gleichem Umfang.

Eine nähere Beschreibung des Apparates kann ich leider nicht mittheilen, weil mir die Originalabhandlung nicht zugänglich ist, ohne Zweifel aber wird man die besprochenen Erscheinungen der tellurischen Induction sehr gut mit einer solchen Spirale hervorbringen können, wenn man diese Spirale in gehöriger Verbindung mit einem solchen Commutator setzt, wie ihn Stöhrer an seine magnetoelektrischen Maschinen anbringt. Bei solcher Einrichtung würde der Apparat auch zu messenden Versuchen geeignet seyn.

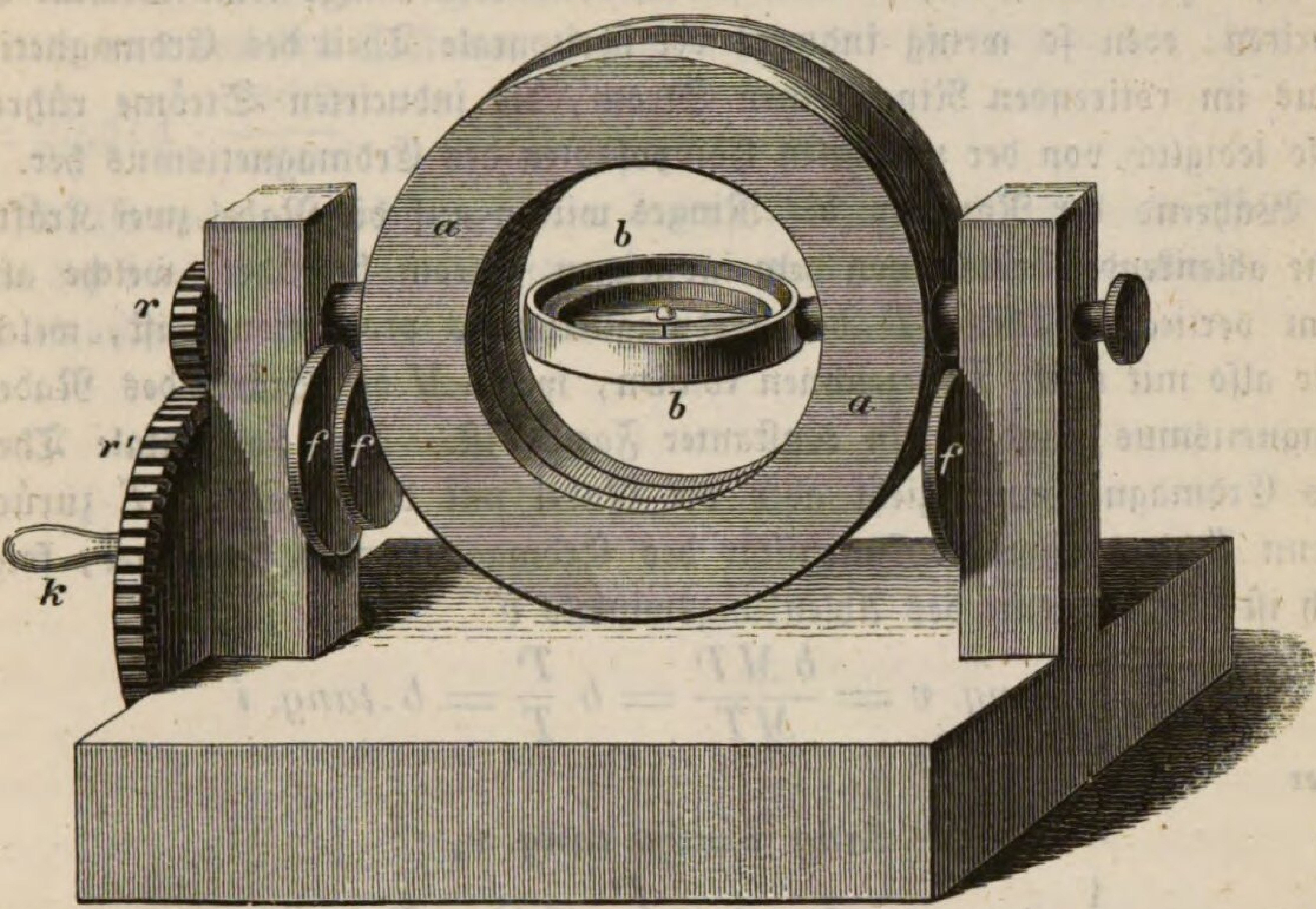
263 **Weber's Inductionsinclinatorium.** Denken wir uns, daß der Ring eines der Tangentenbussole ähnlichen Apparates um seine horizontale mit dem magnetischen Meridian zusammenfallenden Axe rasch umgedreht werden könnte, ohne daß die Magnetnadel, welche sich in der Mitte dieses Ringes befindet, ihren festen Stand verlöre, so müßte die Nadel durch die Ströme, welche der Erdmagnetismus im rotirenden Ringe inducirt, abgelenkt werden.

---

*) An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen sind 1,2 und 0,9 Meter als die Dimensionen der Ellipse angegeben. Die oben angegebenen Zahlen sind dem Berliner Jahresberichte für 1845 entnommen.

Die eben bezeichnete Aufgabe hat nun Weber mit dem, Fig. 255, abgebildeten Inductionsinclinatorium gelöst. *aa* ist ein Ring, welcher 100

Fig. 255.



Millimeter inneren, und 161^{mm} äußeren Durchmesser hat; er besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der andern Seite sich befinden, während in der Mitte ein Zwischenraum von 12^{mm} bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluß des Zwischenraums betrug 34^{mm}. Die Axe, um welche dieser Ring gedreht wird, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Die Axe auf der rechten Seite ist hohl, und durch diese Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Bussole *b* trägt. Die Rotation des Ringes um seine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder *r* und *r'* durch die Kurbel *k* bewirkt. 7 Umdrehungen der Kurbel entsprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetischen Meridian fällt.

Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel ½- oder 1mal herumgedreht, was für den ersten Fall 166,7, für den zweiten 333,4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenschläger nicht genau Secunden schlug, sondern 60 Schläge = 61,7 Secunden waren.

Bei 166,7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Magnetnadel um 5,63^0, bei 333,4 Umdrehungen um 10,76^0 abgelenkt,

die Ablenkung, mithin also auch die Stärke des inducirten Stromes, ist also nahe zu der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zusammenfällt, so kann sie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; eben so wenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren also lediglich von der verticalen Composanten des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strom herrührt, welche also dem verticalen Theile T' des Erdmagnetismus proportional ist, welche wir also mit $bM.T'$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus, und b ein constanter Factor ist. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft MT zurück, wenn T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bezeichnet, folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang.\, v = \frac{bMT'}{MT} = b\,\frac{T'}{T} = b.tang.\, i$$

oder

$$tang.\, i = a\; tang.\, v,$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ ist der Tangente der magnetischen Inclination i gleich. Man könnte also aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unseres Instrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Diesen Factor kann man aber umgekehrt für eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit bestimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt ist. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel 5,465°, also $tang.\, v = 0{,}0962$; für Göttingen, wo die Versuche mit dem Instrument angestellt wurden, ist die Inclination 67° 50′, also $tang\; i = 2{,}4545$, also ist

$$a = \frac{2{,}4545}{0{,}0962} = 25{,}514$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit haben wir also

$$tang\; i = 25{,}514\; tang.\, v.$$

Man kann also nun, wenn an irgend einem anderen Orte Versuche mit diesem Instrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablenkungswinkel v die Inclination des Ortes bestimmen. Gesetzt, man habe mit demselben Instrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigeit $v = 3{,}5°$ gefunden, so ergäbe sich für die Inclination dieses Ortes

$$tang.\ i = 25{,}514 \,.\, 0{,}06116 = 0{,}15605$$
$$i = 8^0\ 52'.$$

Der Factor von *tang. v* ändert übrigens im umgekehrten Verhältniß die Umdrehungsgeschwindigkeit; für 500 Umdrehungen des Ringes (natürlich an demselben Instrument) waren demnach der Factor von *tang. v* $= 25{,}514 \cdot \frac{166{,}7}{500}$.

So ist man also vermöge dieser äußerst sinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu bestimmen. (P. A. XLIII, 493.)

Neunter Abschnitt.

Diamagnetismus.

---

264 **Drehung der Polarisationsebene durch Elektromagnete und magnetisirende Spirale.** Faraday's wichtige Entdeckung, daß die Polarisationsebene von Strahlen, welche gewisse durchsichtige Körper durchlaufen unter dem Einfluß von Elektromagneten oder Magnetisirungsspiralen gedreht werde, ist bereits in meinem Lehrbuch der Physik (3. Auflage, 2. Bd., S. 266) in ihren Grundzügen auseinander gesetzt worden. Eine Wiederholung dessen, was ich dort über diesen Gegenstand gesagt habe, dürfte wohl unnöthig seyn, und so kann ich mich darauf beschränken, hier nur noch einige Notizen zur Ergänzung des dort Mitgetheilten zu geben.

Faraday bespricht den Einfluß des Magnetismus und des galvanischen Stromes auf die Lage der Polarisationsebne in seiner 19ten Reihe von Experimentaluntersuchungen über Elektricität (Phil. Trans. f. 1846 p. 1. — P. A. LXVIII, 105). Den Unterschied zwischen der Drehung der Polarisationsebne in circular polarisirenden Körpern und der Drehung, wie sie durch den galvanischen Strom hervorgebracht wird, bespricht Faraday in einem Aufsatz, welcher in dem Philosophical Magazine (T. XXIX, 153, 249) unter dem Titel: über die magnetische Affection des Lichtes u. s. w. erschien (P. A. LXX, 283).

Die magnetische Drehung der Polarisationsebene beobachtete Faraday an allen amorphen durchsichtigen Körpern, die er untersuchte, also bei allen Gläsern; ebenso bei denjenigen krystallisirten Körpern, welche dem regulären System angehören, wie Steinsalz, Alaun, Flußspath; dagegen blieb, nach Faraday's Beobachtung, diese Drehung aus bei allen doppelt brechenden Krystallen.

Der Elektromagnet bewirkt die Drehung der Polarisationsebene in allen

Flüssigkeiten, mögen sie nun an und für sich schon ein Drehungsvermögen haben oder nicht.

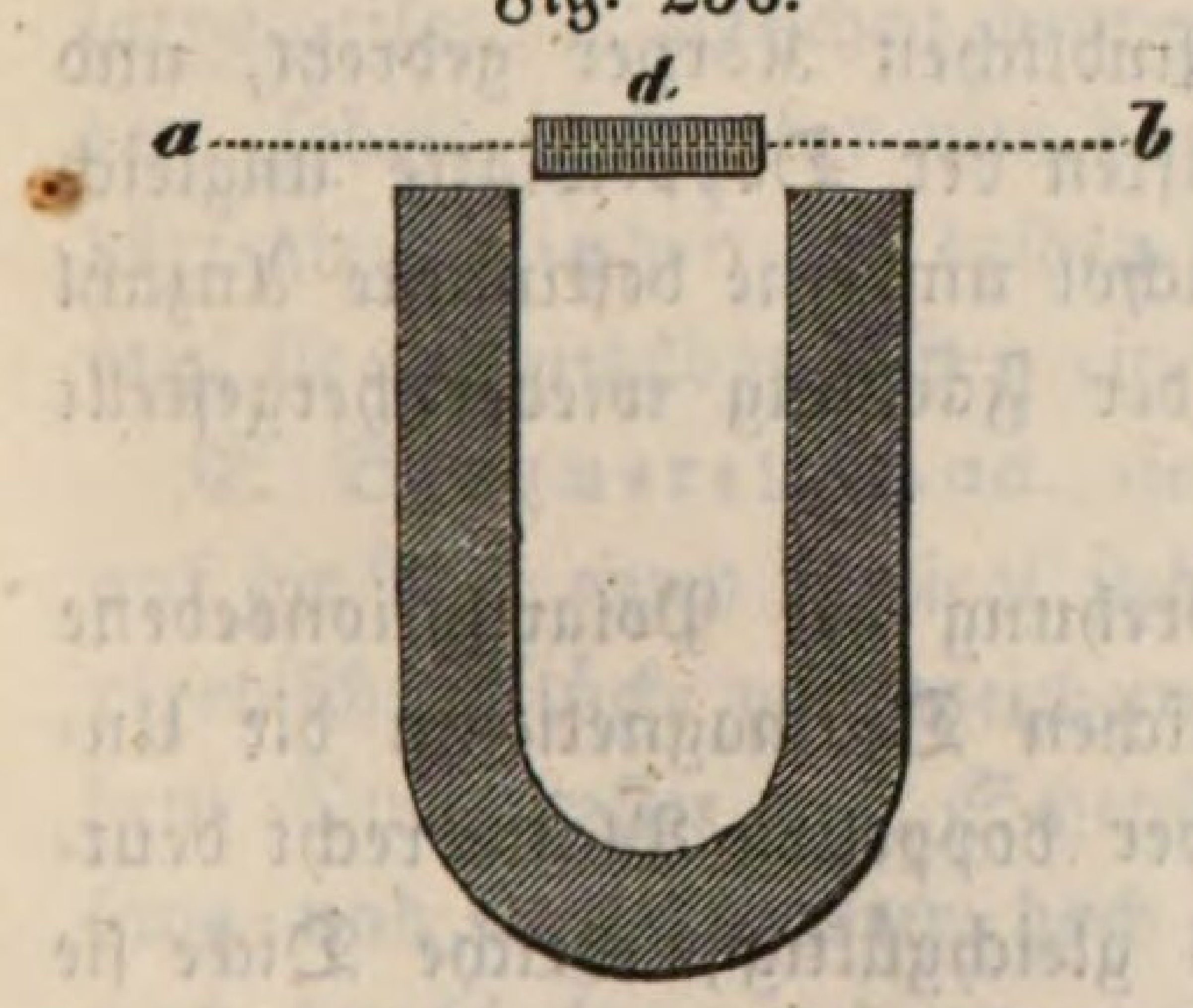
Bei keinem der Gase, welche Faraday untersuchte (atmosphärische Luft, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, schweflige Säure, Chlorwasserstoff, Kohlensäure u. s. w.), fand er eine Drehung der Polarisationsebene durch Elektromagnetismus.

Bei den an und für sich drehenden Flüssigkeiten scheint das natürliche Drehungsvermögen keinen Einfluß auf die Größe der elektromagnetischen Drehung zu haben; die beiden Drehungen afficiren einander nicht, sie sind zu einander zu addiren oder von einander zu subtrahiren, je nachdem sie in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne wirken.

Bei Anwendung von Elektromagneten erreicht das erscheinende Licht erst einige Zeit nach Schließung der Kette seine volle Stärke wohl aus keinem andern Grunde, als weil zur vollen Entwickelung des Magnetismus im Eisenkern einige Zeit nöthig ist.

Wiederholung und Vervollkommnung des Versuchs über die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene. 265 Als die neue Entdeckung Faraday's nur erst aus kurzen Notizen bekannt geworden war, wurden auf dem Continente Versuche gemacht, um die Erscheinung gleichfalls hervorzubringen. In Deutschland war es Böttger, in Frankreich war es Pouillet, denen es zuerst gelang, und zwar stellte Böttger den Versuch mit einer Spirale an, wie bereits in der dritten Auflage meines Lehrbuches der Physik erwähnt ward, während Pouillet sich starker Elektromagnete bediente. Letzterer fand, daß das Diamagneticum in der Mitte zwischen den beiden Polen, wie *d* in Fig. 256 die größte Drehung zeige, daß sie abnehme, wenn man es in der Verbindungslinie der beiden Pole dem einen, also z. B. nach *a* zuschiebe, daß sie Null wird, wenn die Mitte des Diamagneticums gerade dem Mittelpunkte des einen Poles gegenübersteht, und daß die Drehung in die entgegengesetzte übergeht, wenn man das Diamagneticum noch über den Pol hinausschiebt, so daß es sich nicht auf der Verbindungslinie der beiden Pole selbst, sondern auf ihrer Verlängerung befindet, wobei jedoch stets angenommen ist, daß der Lichtstrahl in der Linie *a b* fortgeht. Es ist dies übereinstimmend mit dem schon von Faraday aufgefundenen Grundgesetz der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene, daß dieselbe stets in der

Fig. 256.



Richtung stattfindet, in welcher die Ampèrischen (positiven) Ströme einen Eisenstab umkreisen würden, wenn er an die Stelle des Diamagneticums gebracht würde.

Da die Drehung der Polarisationsebene unter den erwähnten Umständen, selbst bei den geeigneteren Substanzen, nur eine geringe ist, so mußte man seine Sorgfalt vorzugsweise darauf richten, die Effecte einer kleinen Drehung möglichst sichtbar zu machen, was nur durch Vervollkommnung des optischen Theils des Apparates möglich ist. Pouillet wandte bei seinen Versuchen eine, von Soleil construirte Vorrichtung an (Compt. rend. XXII, 135.), durch welche auch die kleinste Drehung der Polarisationsebene bemerklich gemacht und gemessen werden kann. Für uns besteht der wesentlichste Theil dieses Apparates in einer Doppelplatte (double plaque) von Quarz, welche aus zwei senkrecht zur Axe geschliffenen, neben einander gekitteten, und erst nach dieser Kittung vollständig abgeschliffenen und polirten Quarzplatten besteht, von denen die eine rechts, die andere links drehend ist. Da die beiden Hälften der Platte vollkommen gleich dick sind, so wird sie zwischen den gekreuzten Nichols auch vollkommen gleichförmig gefärbt erscheinen, sobald aber das Ocularnichol nur etwas aus dieser Lage herausgedreht wird, so erscheinen sogleich die beiden Hälften der doppelten Platte ungleich gefärbt.

Diese doppelte Platte ist nun dicht hinter dem Nichol angebracht, durch welches der Lichtstrahl in den Apparat eintritt; dann folgt der auf die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene zu untersuchende Körper, und endlich das Ocularnichol, welches so gestellt wird, daß die beiden Hälften der doppelten Platte gleich gefärbt erscheinen, wenn der Elektromagnet nicht durch den galvanischen Strom erregt ist. Sobald nun der Strom den Elektromagneten zu umkreisen beginnt, wird die Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Körper gedreht, und in Folge dessen werden nun die beiden Hälften der Doppelplatte ungleich gefärbt erscheinen; man muß das Ocularnichol um eine bestimmte Anzahl von Graden drehen, wenn die Gleichheit der Färbung wieder hergestellt werden soll.

Wenn schon durch eine ganz geringe Drehung der Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die Ungleichheit der Färbung der beiden Hälften der doppelten Platte recht deutlich hervortreten soll, so ist es keineswegs gleichgültig, welche Dicke sie hat; die geeignetste ist 3,75^{mm}; bei dieser Dicke der Doppelplatte erscheint dieselbe zwischen parallel gestellten Nichols purpurviolet, ein Farbenton, welcher vorzugsweise durch die äußersten Strahlen des Spectrums gebildet wird, während das Gelb in demselben ganz ausgelöscht wird. Dieser Farbenton, welcher die Uebergangsfarbe (teinte de passage) genannt wird,

hat die Eigenthümlichkeit, sehr rasch in Blau oder Roth überzugehen, so daß schon bei der geringsten Drehung des Ocularnichols oder bei der geringsten Drehung der Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die eine Hälfte der Doppelplatte eine blaue, die andere eine rothe Färbung annimmt.

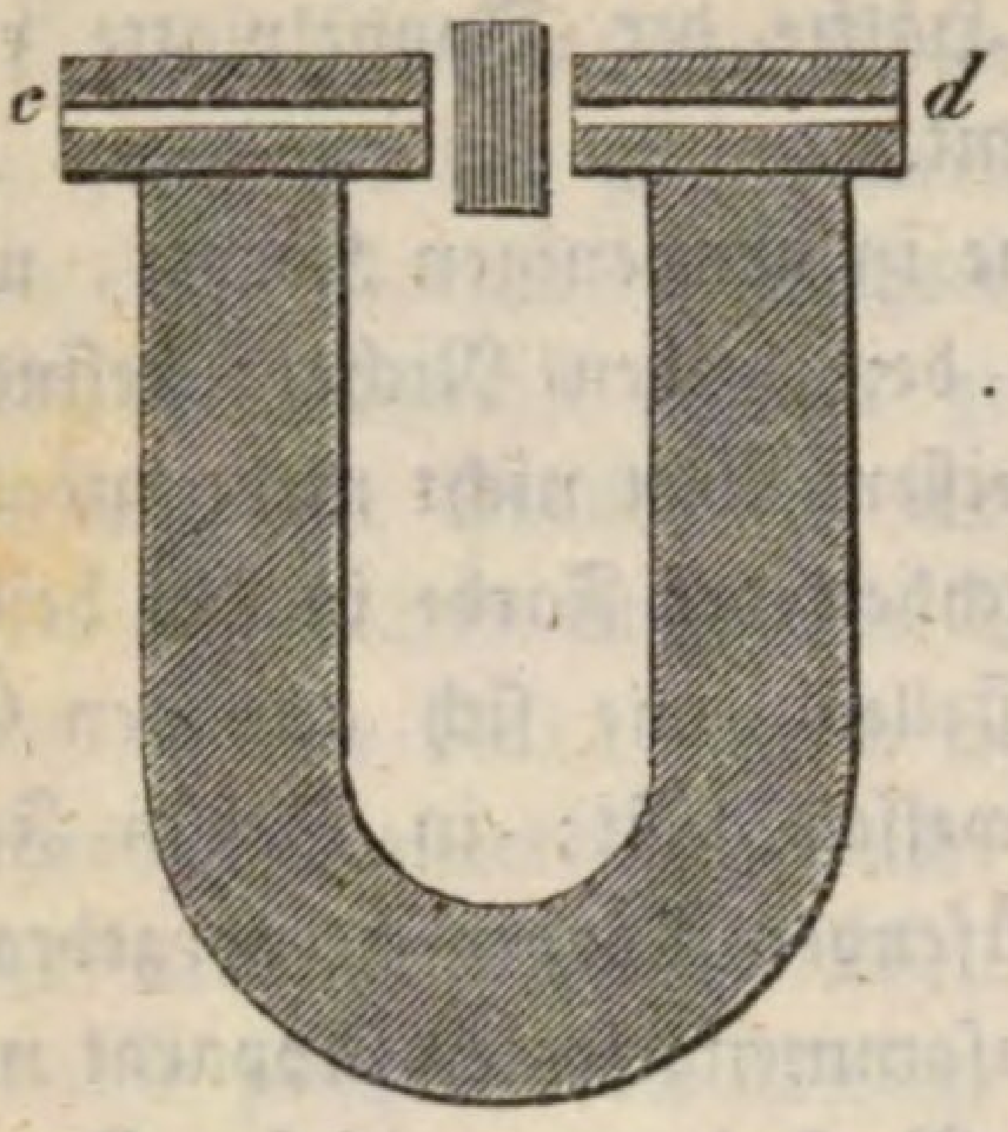
Wenn die Drehung der Polarisationsebene in demjenigen Körper, welcher sich mit der doppelten Platte zwischen den beiden Nichols befindet, sehr groß ist, so ist es bei einfallendem weißen Licht nicht mehr möglich durch Drehung des Ocularnichols die Gleichheit der Farbe in den beiden Hälften der doppelten Platte wieder herzustellen, wie sich aus den Gesetzen der Circularpolarisation leicht nachweisen läßt; in diesem Falle wird die Drehung, welche durch den zu prüfenden Körper hervorgebracht wurde, durch einen aus zwei Quarzkeilen zusammengesetzten Apparat neutralisirt. Auch Pouillet machte bei seinen Versuchen von diesen Quarzkeilen Gebrauch. Da jedoch gerade bei der elektromagnetischen Circularpolarisation meist nur geringe Drehungen vorkommen, so ist dieser Theil des Soleil'schen Apparates für uns nicht wesentlich, weshalb auch hier von seiner näheren Beschreibung abstrahirt werden kann.

Eine andere Methode, kleine Drehungen der Polarisationsebene merklich zu machen, besteht darin, daß man das Ocularnichol durch ein achromatisirtes Kalkspath- oder Quarzprisma ersetzt, welches doppelte Bilder giebt. Ist nun vor dem Nichol, durch welches die Strahlen polarisirt werden, eine Blendung mit kreisförmiger Oeffnung angebracht, so wird man im Allgemeinen zwei Bilder dieser Oeffnung sehen. Der ganze Apparat muß nun gerade so adjustirt werden, daß diese beiden kreisförmigen Bilder einander gerade berühren, und dann dreht man das Ocularprisma so, daß die beiden Bilder genau gleich hell erscheinen, wenn keine Circularpolarisation zwischen dem Nichol und dem Zerlegungsprisma stattfindet; sobald diese aber nun durch Schließung der Kette bewerkstelligt wird, hört die Gleichheit der beiden Bilder auf, und dies ist um so merklicher, weil sie unmittelbar neben einander liegen.

E. Becquerel (Ann. de chim. et de phys. T. XVII, 437.) setzte auf die Pole eines vertical stehenden Uförmigen Elektromagneten parallelepipedische Stücke von weichem Eisen, welche 11 Centimeter breit (gleich dem Durchmesser der Schenkel seines Elektromagneten), 16 Centimeter lang und 5 Centimeter hoch waren. Diese Stücke waren ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hatte die Höhlung 2 Centimeter Durchmesser; gehörig aufgesetzt, bildet die eine dieser Röhren genau die Verlängerung der anderen. Die zu untersuchende Substanz wird zwischen diese Eisenstücke angebracht, welche man, je nach den Umständen, bald mehr einander nähern, bald weiter von einander entfernen kann. Aus

Fig. 257 kann man die Disposition des Apparates ersehen. Die Nichol'schen Prismen sind bei *c* und *d* angebracht.

Fig. 257.



Die Mittel, mit welchen Becquerel experimentirte, waren sehr bedeutend. Der Durchmesser des Eisenkerns seines Elektromagneten betrug, wie der, mit welchem Faraday operirte, 11 Centimeter. Auf jeden Schenkel waren 910 Meter eines 2 Millimeter dicken Kupferdrahtes aufgewunden

Feste Körper, die man dem Versuch unterwerfen will, werden mit parallelen Flächen versehen, Flüssigkeiten aber zwischen parallelen Wänden von dünnem Glas an die entsprechende Stelle des Apparates gebracht. Damit diese Körper nicht zerdrückt werden, wenn nach Schließung der Kette die beiden Eisenstücke sich anziehen, wird zwischen dieselben noch eine Holzplatte gebracht, welche um etwas dicker ist, als die zu untersuchende Platte.

In einem Prisma von schwerem Glase (kiesel-borsaurem Bleioxyd) von 48 Millimeter Länge, betrug die mit dem beschriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16°, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit starker Säure gefüllten Bunsen'schen Bechern

Das Stück schweren Glases, welches Becquerel zu diesem Versuch anwandte, wirkte theilweise selbst depolarisirend, wie dies bei schnell abgekühlten Gläsern stets der Fall ist, und was oft bei der größten Sorgfalt bei der Bereitung mancher Glassorten kaum vermieden werden kann. In solchen Fällen hat man die Veränderungen zu beobachten, welche im schwarzen Kreuze vorgehen.

Nach den Versuchen von Becquerel befolgt die Größe der Drehung der Polarisationsebene für die verschiedenfarbigen Strahlen dasselbe Gesetz, welches Biot für die natürliche Drehung im Quarz, in einer Zuckerlösung u. s. w. nachgewiesen hat, d. h. unter sonst gleichen Umständen verhält sich die Drehung der Polarisationsebene umgekehrt, wie die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen.

Wenn man mit Platten derselben Substanz experimentirt, welche aber verschiedene Dicke haben, so findet man nach Becquerel's Angaben, daß eine Platte von 1 bis 2 Centimeter Dicke, wenn die Eisenstücke ihr auf beiden Seiten fast bis zur Berührung genähert sind, eine fast eben so große Drehung gab, wie eine 10 Centimeter dicke unter gleichen Umständen. Es kommt dies, nach Becquerel's Meinung, daher, daß,

wenn man die Eisenstücke nähert, ihr polare Intensität in dem Maaße wächst, daß durch die Zunahme der magnetischen Intensität die Abnahme in der Dicke der untersuchten Substanz fast compensirt wird. Wenn man aber die Eisenstücke in gleicher Entfernung läßt, und zwischen sie Platten von verschiedener Dicke bringt, so vermindert sich der Effect, wenn die Platten dünner werden. Es ist deshalb nicht vortheilhaft, Platten anzuwenden, welche mehr als einige Centimeter dick sind.

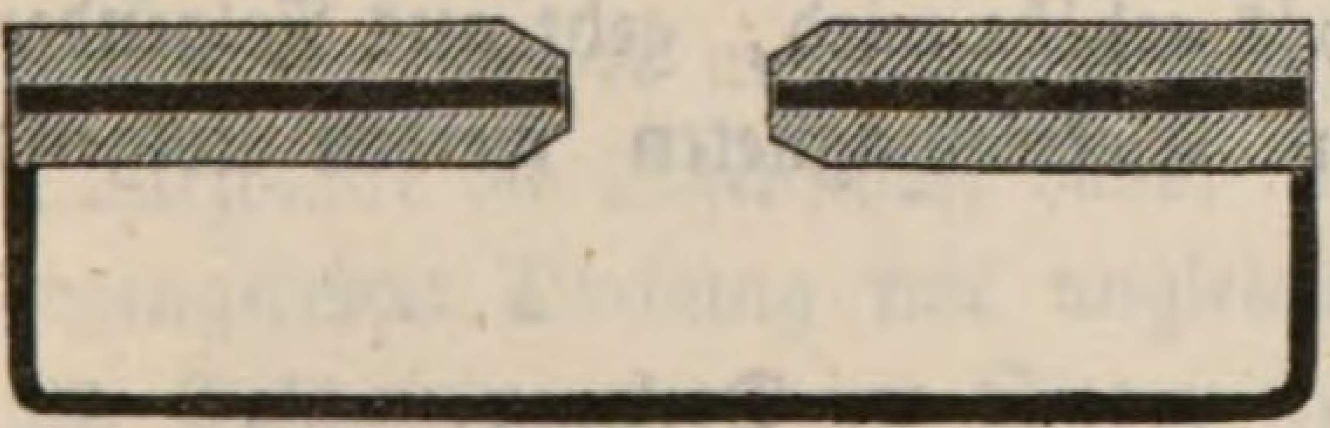
Auch bei diesen Versuchen zeigte sich das schwere Glas am wirksamsten; darauf folgt Flintglas und endlich Kronglas.

Unter den Flüssigkeiten fand Becquerel die Auflösungen der Chlormetalle besonders wirksam. Bei 1 Centimeter Dicke gab eine Lösung von Chlorzink 6°, Chlorcalcium und Chlornatrium 4,5°, reines Wasser 3° Drehung. Alkohol und Aether wirkten schwächer als Wasser.

Faraday hatte an doppeltbrechenden, senkrecht auf die Axe geschliffenen Krystallen keine Drehung der Polarisationsebene finden können. Becquerel beobachtete bei einigen eine schwache Wirkung; so z. B. bei zwei auf einander gelegten Quarzplatten, von denen die eine rechts-, die andere linksdrehend und welche gleich dick waren, so daß sich die Wirkung ihrer eigenthümlichen Drehung aufhob. An einer gelblichen Platte von Beryll zeigte sich eine schwache Wirkung, an einer grünen blieb sie aus. Eben so beobachtete Becquerel bei einer Turmalinplatte einen schwachen Effect, bei einigen anderen dagegen nicht.

Um die Drehung der Polarisationsebene durch Elektromagnetismus zu zeigen, construirte Ruhmkorff einen Apparat, welcher mit Hülfe der Fig. 258 leicht verständlich zu machen ist (Comptes rendus T. XXIII, 417, 538; Ann. d. chem. et d. phys. XVIII, 318.). Zwei eiserne Cylinder, von denen jeder 9 Centimeter lang ist und 3 Centimeter Durchmesser hat, sind mittelst einer eisernen Stange so mit einander verbunden, daß die Axe des einen die Verlängerung von der Axe des anderen bildet, und daß ihre conischen, einander zugewandten Enden 1 Centimeter weit von einander abstehen. Diese eisernen Cylinder sind ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hat das cylindrische Loch 1 Centimeter Durchmesser. Um jeden dieser hohlen Cylinder ist ein 100 Meter langer, 2 Millimeter dicker Kupferdraht gewunden; der Strom wird durch die Spiralen so hindurchgeleitet, daß die beiden einander zugekehrten Pole ungleichnamig sind.

Fig. 258.



Matthiesen aus Altona hat viele Glassorten untersucht und unter

denselben viele gefunden, welche unter dem Einflusse des Elektromagneten noch stärker drehen, als Faraday's schweres Glas ($SiO_3 . 2BO_3 PBO$). Namentlich zeichnen sich in dieser Beziehung die reinen Bleisilicate SiO_3 $6PbO$ und $SiO_3 . 4PbO$, welche doppelt so stark wirken, als das Borsilicat von Blei. Leider laufen diese Glassorten, wie auch das Faraday'sche schwere Glas, an der Luft an. (Compt. rend. T. XXIV, p. 969; T. XXV, p. 20. Pogg. Ann. LXXIII, 65).

Die ausführlichste Untersuchung über magnetische Circularpolarisation hat Bertin angestellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XVIII, p. 5. Pogg. Ann. LXXV, 420). Alle in seiner Abhandlung gegebenen Zahlen stellen die volle Drehung dar, welche die Polarisationsebene durch die Richtungsänderung des Stromes erleidet. — Nehmen wir an, man habe das Ocularnichol auf Null gestellt und schließe nun die Kette, so wird die Polarisationsebene nach einer Seite, etwa nach der rechten gedreht, und man muß das Ocularnichol um n Grad rechts drehen, um das Gesichtsfeld wieder auf ein Minimum von Lichtstärke zu bringen; kehrt man aber jetzt den Strom ganz um, so muß man den Zerleger nun um $2n$ Grad nach der Linken drehen, um das Gesichtsfeld wieder dunkel zu machen. Diese der Stromumkehrung entsprechende Drehung $2n$ ist es, welche Bertin stets beobachtete.

Wie die Erscheinungen der gewöhnlichen Circularpolarisation, so würden auch die Erscheinungen der elektromagnetischen Circularpolarisation weit einfacher werden, wenn man statt des weißen Lichtes, homogenes anwendete, wenn man etwa durch rothe Gläser beobachtete.

Bertin wandte bei seinen Versuchen theils die Becquerel'sche, theils die Ruhmkorff'sche Vorrichtung an. Wie sehr die Wirkung mittelst der durchbohrten Aufsätze Becquerel's im Vergleich gegen die ursprüngliche Beobachtungsmethode Faraday's erhöht wird, geht aus Folgendem hervor. Bei Anwendung desselben Elektromagneten werden folgende Drehungen beobachtet:

Substanz	Dicke	Drehung mit Aufsätzen		Drehung ohne Aufsätze	
Sehr dichtes Flintglas	55,1 mm	21°	0′	4°	30′
Faraday's Glas	48,3	25	6	6	30
Destillirtes Wasser	130,0	5	30	3	0

Begreiflicher Weise ändert sich der Effect bei Anwendung der gleichen Anzahl galvanischer Elemente, je nachdem man sie anders combinirt. Bertin hat darüber besondere Versuche angestellt. Mit einem Ruhmkorff'schen Apparate brachte er in einem 39 Millimeter langen Stück Faraday'schen Glases folgende Drehungen hervor:

Anzahl der Elemente	Mit einer Säule von		Beobachtete Drehung	
80	80 . . .	1 fachen Bechern	23°	30′
80	40	2 » »	25	20
80	20	4 » »	26	30
40	40	1 fache Becher	20	30
40	20	2 » »	22	30
40	10	4 » »	18	30
20	20	1 fache Becher	17	30
20	5	4 » »	13	0
10	10	1 fache Becher	14	30
1	1	1 fache Becher	3	

Um bei gegebener Becherzahl die zweckmäßigste Combination derselben zu ermitteln, hätte man übrigens nicht nöthig, erst eine solche Versuchsreihe anzustellen. Hat man einmal den Widerstand des Spiraldrahtes ermittelt, welcher die Eisenkerne des Elektromagneten umgiebt, so kann man leicht berechnen, wie man eine gegebene Anzahl von Bechern verbinden muß, um die größte Wirkung zu erhalten.

Bertin hat in einer Vorlesung die Erscheinungen der magnetischen Circularpolarisation mittelst einer Soleil'schen Lampe auch objectiv dargestellt.

Die Richtung der Drehung der Polarisationsebene fand er in allen möglichen Combinationen stets dem schon von Faraday ausgesprochenen Gesetze entsprechend.

Bertin vergleicht nun dies Gesetz mit der Theorie, welche Fresnel von der drehenden Polarisation gegeben hat: »Nachdem er (Fresnel) »bewiesen hat, daß ein geradlinig polarisirter Strahl zerlegt werden kann »in zwei circular polarisirte von entgegengesetzter Drehung und umge- »kehrt, brauchte er nur anzunehmen, daß eine auf ihrer Axe winkelrechte »Quarzplatte die Eigenschaft habe, circularpolarisirende Strahlen von ent- »gegengesetzter Drehung mit ungleicher Geschwindigkeit durchzulassen, und »alle Erscheinungen beim Quarz ergaben sich als nothwendige Folgen. »Ebenso dürfen wir nur annehmen, die Gegenwart des Elektromagneten »oder, was dasselbe ist, eines kreisrunden Stromes ertheile den durchsichtigen »Körpern die Eigenschaft, denjenigen circularpolarisirten Strahlen, deren »Lichttheilchen sich in gleichem Sinne wie der Strom drehen, einen leich- »teren Durchgang zu verstatten, und das allgemeine Gesetz der elektromagne- »tischen Circularpolarisationen stellt sich als nothwendige Folge dieser ein- »fachen Hypothese dar.«

Auf eine sehr zweckmäßige Weise benutzte Bertin die Eigenschaft der magnetischen Circularpolarisation, daß ein Strahl, welcher im Diamagneticum hin und her geht, doppelt so stark gedreht erscheint, als wenn er nur

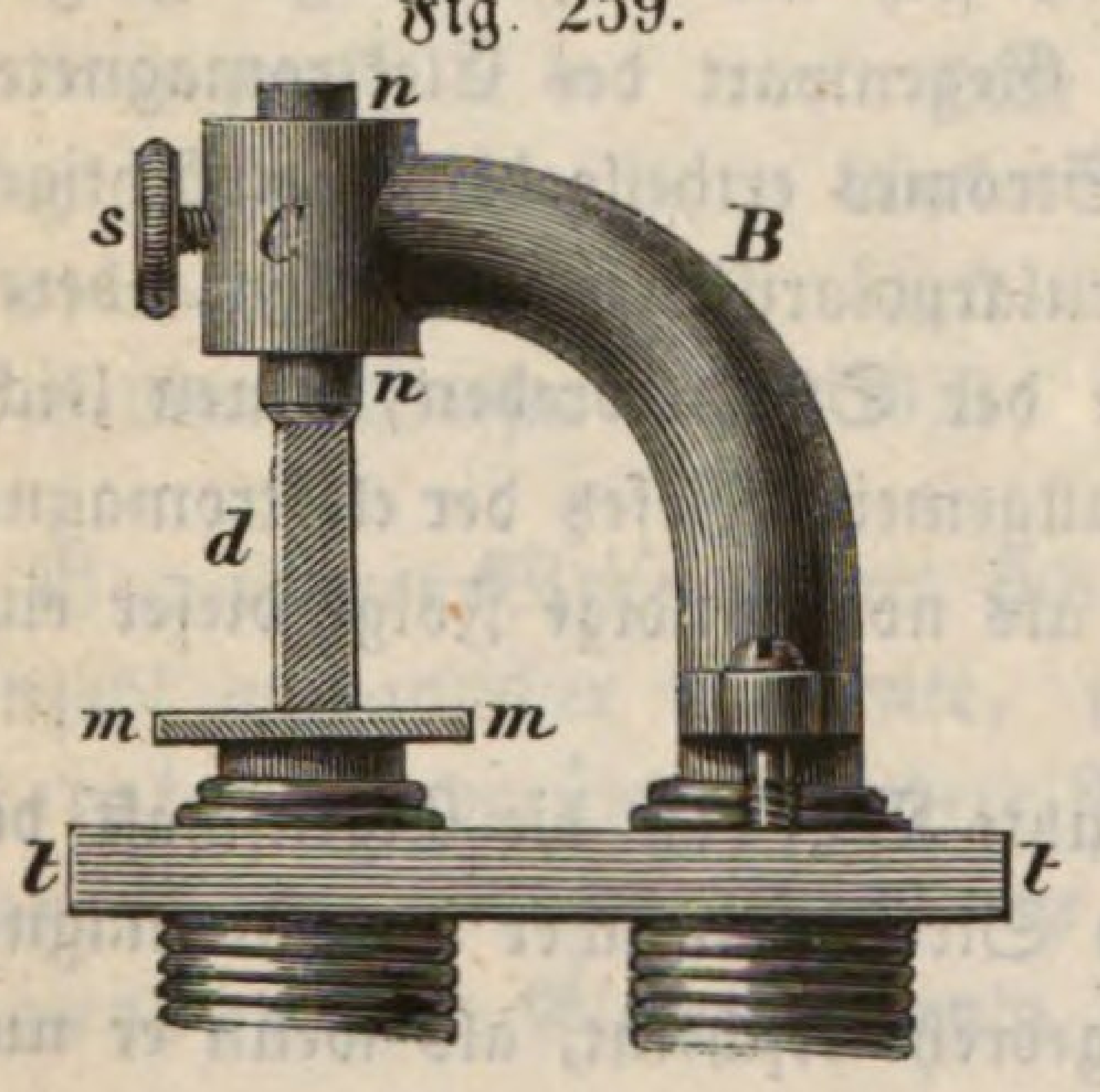
einmal die Dicke desselben durchlaufen hätte, indem er einen Nörremberg'schen Polarisationsapparat geradezu auf den einen Pol des (verticalstehenden) Elektromagneten setzte. Der belegte horizontale Spiegel *c* dieses Polarisationsapparates (siehe mein Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Bd. S. 270.) wurde dort auf die Fläche des Elektromagneten gebracht und auf diesen ein Stück Faraday'schen Glases. So lange kein Strom durch den Apparat geht, sieht man das Gesichtsfeld dunkel, wenn die Polarisationsebenen des untern Polarisationsspiegels und des Zerlegers (besser ein Nichol'sches Prisma als ein Spiegel) gekreuzt sind; so wie aber der Strom hindurchgeht, erscheint die Platte hell, und man muß den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polarisationsapparat auf einen Südpol steht, nach der linken im entgegengesetzten Fall, um wieder ein Minimum von Lichtstärke zu erhalten. Für eine 18^{mm} dicke Platte Faraday'schen Glases betrug diese Drehung 10^{0}, für eine 48^{mm} dicke betrug sie 21^{0}.

Die große Intensität der auf diese Weise über einem Pol eines Elektromagneten beobachteten Wirkung macht die erwähnte Benutzung des Nörremberg'schen Apparates zur Beobachtung der elektromagnetischen Circularpolarisation besonders empfehlenswerth, namentlich da sie auch unter allen Beobachtungsmethoden die bequemste und einfachste ist. Wenn man nicht schon einen Nörremberg'schen Apparat besitzt, welcher sich bequem auf den Elektromagneten aufsetzen läßt, so kann man leicht einen kleinen gerade auf einen Pol des Elektromagneten passenden construiren.

Da jedoch der Nullpunkt der Lichtstärke bei der unvollständigen Polarisation, welche der untere Spiegel bewerkstelligt, nicht mit großer Schärfe zu bestimmen ist, so bietet in diesem Falle die Anwendung der schon besprochenen doppelten Platte große Vortheile. In der That hat sie Bertin auch bei diesen Versuchen angewandt.

Mit einem solchen Elektromagneten, wie er Fig. 497 des 2ten Bandes meines Lehrbuchs der Physik (3ten Auflage) abgebildet ist, dessen Eisen 35^{mm} Durchmesser hatte, gelang es mir, nach der Bertin'schen Methode, nur höchst unbedeutende Wirkungen zu erhalten. Um sie zu verstärken ging ich darauf aus, auch bei Anwendung des Nörremberg'schen Polarisationsapparates das Diamagneticum zwischen zwei Magnetpole zu bringen. Die Art und Weise wie ich dies bewerkstelligte, ist Fig. 259 dargestellt. Auf den einen Pol des Elektromagneten wird ein ei=

Fig. 259.



ferner Bügel *B* aufgesetzt und durch Holzschrauben festgehalten, welche in das Brettchen *t* eingelassen sind. Gerade über der Mitte des anderen Poles endigt der Bügel *B* mit einem hohlen Eisencylinder *C*, in welchem ein eisernes Rohr *nn* von wenigstens 2''' innerer Oeffnung und nahe 2''' Wanddicke auf- und abgeschoben, und mittelst der Schraube *s* an jeder beliebigen Stelle festgestellt werden kann. *nn* wird so gerichtet, daß es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums *d* aufsitzt, welches auf dem belegten Spiegel *mm* des Nörremberg'schen Apparates steht. Mittelst dieser Vorrichtung habe ich bei Anwendung von 20 Bunsen'schen Elementen (5 vierfache) in einem 5 Centimeter hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polarisationsebene von 9° bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimensionen dieser Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem sie angebracht werden soll.

Faraday hielt es für wahrscheinlich, daß in wässerigen Lösungen das Wasser und nicht der gelöste Stoff die drehende Substanz sey; Bertin hat dargethan, daß dies nicht der Fall ist. Zunächst fand er, daß gerade die wasserfreien Flüssigkeiten die stärkste magnetische Circularpolarisation zeigen, dann aber auch, daß es unter den gelösten Stoffen einige giebt, welche das Drehungsvermögen des Wassers vermehren, andere, welche es vermindern.

Bei einer Dicke von 1 Centimeter fand er die Drehung in einigen wasserfreien Flüssigkeiten folgendermaßen:

Zinnchlorid	7°	30'
Schwefelkohlenstoff . .	7°	0
Phosphorchlorid , . .	5°	

während eine gleich dicke Wasserschichte unter denselben Umständen die Polarisationsebene nur um 2° 20' dreht.

Den Einfluß der Verdünnung zeigen folgende Beobachtungen. Bei einer Dicke von 13 Millimeter und unter stets gleichen Umständen drehte

eine concentrirte Lösung von Chlornatrium	6°	20'
dieselbe Menge Salz in der 2fachen Wassermenge	4	55
» » » » 4 » »	4	40
» » » » 8 » »	4°	0
reines Wasser	3°	40

Mit einigen anderen concentrirten Lösungen erhielt er folgende Resultate:

Drehung einer concentrirten Lösung von			Drehung einer gleich dicken Wasserschichte unter denselben Umständen	
Chlormagnesium	6°	5'	3°	30'
Chlorzink	10	0	4	30
Chlorstrontium	5	30	4	15
Salpetersaures Ammoniak	3	45	4	55
Schwefelsaures Eisen	4	20	6°	0

Das Drehungsvermögen des Schwefelkohlenstoffs ist dreimal größer, als das des Wassers, und halb so groß, als das des Faraday'schen Glases; diese Flüssigkeit ist deshalb sehr geeignet, bei diesen Versuchen die seltenen Gläser zu ersetzen.

Das Drehungsvermögen des Alkohols fand Bertin, wie seine Vorgänger, kleiner als das des Wassers.

266 **Gesetz der Dicke und des Abstandes.** Bei einer und derselben Substanz ändert sich die Stärke der Drehung mit der Dicke; allein das Gesetz dieser Drehung ist von verschiedenen Experimentatoren, welche sich mit dieser Aufgabe beschäftigt haben, verschieden angegeben worden. Einige sagen: die Drehung sey proportional der Dicke, nach Anderen ist dies nicht der Fall. Bertin hat das Verhältniß der Dicke zur Drehung einer genauen Prüfung unterworfen.

Betrachtet man nur die Wirkung eines Pols, so ist klar, daß sie von Schichte zu Schichte abnehmen muß, bis zu einer gewissen Entfernung, in welcher der Pol keine drehende Wirkung mehr ausüben kann. Da sich die Drehungen in den einzelnen Schichten addiren, so ist klar, daß, wenn man wachsende Dicken desselben Körpers dem Einfluß eines einzigen Pols unterwirft, die Drehungen mit der Dicke bis zu einer gewissen Gränze zunehmen, von welcher an eine Vermehrung der Dicke keinen merklichen Einfluß mehr ausübt.

Bringt man die Substanz zwischen zwei Pole, so ist klar, daß sich die Wirkung verdoppeln, daß aber das Gesetz derselben bleiben muß, wobei nur noch in Betracht zu ziehen ist, daß, wenn man die Pole stets mit dem Diamagneticum in Berührung erhält, man bei wachsender Dicke desselben die Pole selbst weiter aus einander rücken muß, wobei ihre Stärke nothwendig abnimmt.

Zwischen den verschiebbaren Polen eines Becquerel'schen Apparates beobachtete unter andern Bertin folgende zusammengehörige Dicken und Drehungen an Wasser:

Dicke der Schichte	Drehung
1 Centimeter	2° 0′
2 »	3 30
3 »	4 25
13 »	5 0
15 »	5 0

wodurch die oben angedeutete Ansicht gerechtfertigt erscheint.

Um zu einem bestimmten Gesetze zu kommen, untersuchte Bertin zunächst die auf ein und dasselbe Stück eines Diamagneticums von einer Rolle des Ruhmkorff'schen Apparates (nach Entfernung der andern) in verschiedenen Entfernungen hervorgebrachte Wirkung. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dreier in dieser Beziehung angestellten Beobachtungsreihen:

1) Versuche mit Faraday'schem Flintglase 38,9mm dick

Abstand d. Glases v. dem Pol.	Beobachtete Drehung.	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung.	Unterschied zwis. d. berechneten u. beob. Drehung.
0mm	11° 12'	0,9821	11° 12'	0
1	11 0	0,9470	10 56	— 4'
2	10 25	0,9712	10 44	+ 19
3	10 7	0,9719	9 57	— 10
4	9 50	0,9661	9 51	+ 1
5	9 30	0,9824	9 35	+ 5
6	9 20	0,9417	9 16	— 4
7	8 47	0,9772	9 4	— 17
8	8 35	0,9709	8 34	— 1
9	8 20	0,9508	8 22	+ 2
10	7 55		8 6	+ 11

2) Versuche mit Faraday'schem Flintglase 38,9mm dick.

0	12° 30'	0,8934	12° 30'	0'
5	11 10	0,8582	11 4	— 6
10	9 35	0,8870	9 54	+ 19
15	8 30	0,8716	8 30	0
20	7 25	0,8876	7 31	+ 6
25	6 35	0,8735	6 33	— 2
30	5 45	0,8840	5 50	+ 5
35	5 5	0,9016	5 5	0
40	4 35	0,8728	4 31	— 4
45	4 0	0,895	4 4	+ 4
50	3 35		3 32	— 3

3) Versuche mit Matthiesen'schem Flintglase 44mm dick.

0	7° 40'	0,8261	7° 40'	0
10	6 20	0,7895	6 1	— 19
20	5 0	0,7333	4 56	— 4
30	3 40	0,7727	3 53	+ 14
40	2 50		2 53	+ 3

Man übersieht leicht, daß, wenn man die Entfernungen in arithmetischer Reihe wachsen läßt, daß alsdann die entsprechenden Drehungen in geometrischer Reihe abnehmen, denn wenn man die nächstfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, so erhält man sehr nahe denselben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabellen ersieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglase erzeugte Drehung, und mit Ar die von demselben in 1 Millimeter Abstand erzeugte, so ist die Wirkung der (Ruhmkorff'schen) Rolle in x Millimeter Abstand

$$y = Ar^x$$

Nach dieser Formel sind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, in dem man $r = 0{,}97587$ setzte, was nahe zu dem Mittel aus den Quotienten der ersten Versuchsreihe gleich ist, während $r^5 = 0{,}88504$ und $r^{10} = 0{,}78233$ nahezu die Mittel aus den entsprechenden Quotienten der zweiten und dritten Versuchsreihe sind.

Man sieht, daß die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Drehungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen, daß also die Versuche das durch die Gleichung $y = Ar^x$ ausgedrückte Gesetz rechtfertigen, und zwar für alle Dicken.

Diese Formel wird zu einem Gesetze führen, welches die Drehung mit der Dicke verknüpft, vorausgesetzt, daß jede einzelne Schichte eines Körpers dieselbe Einwirkung erleidet, wie wenn sie allein da wäre.

Um sich davon zu überzeugen, daß dies wirklich der Fall ist, brachte Bertin zwei Flintgläser in Contact zwischen die beiden Pole in bestimmten Lagen und beobachtete die Drehungen, die von den beiden Gläsern zusammen und einzeln in der Anfangs angenommenen Lage ausgeübt wurden. Es ergab sich, daß die erstere Drehung stets die Summe der beiden andern ist. Folgendes sind einige der von Bertin in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläser.			Drehungen bewirkt von den Flintgläsern		Unterschied zwischen der dritten Zahl und der Summe der beiden ersten.
			einzeln.	zusammen.	
Faraday'sches	18,3mm	dick	8° 10	25 10	— 5′
»	38,9	»	17 5		
»	38,9	»	12 15	19 32	+ 12′
Gemeines	43,5	»	7 5		

Die Wirkung eines Pols auf eine Schichte eines Körpers hängt also nach einem bekannten Gesetz allein von der Entfernung dieser Schichte vom

Pole ab. (Bei dem Magnetisiren eines Eisenstabes, der in die Nähe eines Magnetpols gehalten wird, findet bekanntlich ein anderes Verhalten statt.)

Denken wir uns einen diamagnetischen Körper, welcher e Millimeter lang ist und mit der einen Endfläche einen Magnetpol berührt, in Schichten von 1^{mm} Dicke zerlegt, bezeichnen wir ferner die durch den Pol in der ersten Schichte hervorgebrachte Drehung mit c, so ist die in der zweiten cr, die in der dritten cr^2 u. s. w., die in der letzten Schichte endlich cr^{n-1}; die im ganzen Körper hervorgebrachte Drehung ist also

$$c + cr + cr^2 + cr^3 + \ldots cr^{n-1} = c\,(1 + r + r^2 + \ldots r^{n-1})$$

$$= c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}.$$

Derselbe Körper erleidet x^{mm} weit vom Pole entfernt, die Drehung

$$y = c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}\,r^x$$

Wenn der Körper gleichzeitig der Einwirkung der beiden Pole ausgesetzt ist, so wird die dadurch bewirkte Drehung durch die Formel

$$z = c\left(\frac{1 - r^e}{1 - r}\right)(r^x + r^{d - e - x})$$

ausgedrückt, wenn d die Entfernung der beiden Pole bezeichnet. Bertin fand die aus seiner Formel gezogenen Consequenzen durch zahlreiche Versuche bestätigt.

In dieser Formel scheint r weder von der Intensität des Magnetismus, noch von der Natur des Körpers abzuhängen; dagegen hängt c von beiden ab.

Wie c mit der Intensität des Magnetismus variirt, ist noch zu untersuchen; Bertin's Versuche zeigen aber, welches auch sonst das Gesetz seyn mag, daß der Coefficient c bei einer Veränderung der magnetischen Intensität für alle Substanzen in gleichem Verhältniß sich ändert. Mit einem Becquerel'schen Elektromagneten wurden z. B. bei verschiedener Stromstärke folgende Drehungen beobachtet:

Faraday'sches Flintglas 18,3mm dick.	Schwefelkohlenstoff 10mm dick.	Verhältniß der Drehungen.
7° 42′	3° 18′	0,43
13 48	6 0	0,43
19 0	8 18	0,43

Wie sich also auch die Intensität der Pole ändern mag, so bleibt das Verhältniß zwischen den Drehungen des Glases und des Schwefelkohlenstoffs doch stets dasselbe.

Bertin schlägt vor, die Größe c Coefficient der magnetischen Polarisation zu nennen. Setzt man diesen Coefficienten für das Faraday'sche Flintglas gleich 1, so ist er für

Gemeines Flintglas	0,53
Zinnchlorid	0,77
Schwefelkohlenstoff.	0,74
Gelöstes Chlorzink	0,55
Gelöstes Chlorcalcium	0,45
Wasser	0,25
Alkohol 36° B	0,18
Aether	0,15

267 **Drehung der Polarisationsebene im Innern der Magnetisirungsspirale.** Alle die bisher besprochenen Versuche Bertin's begreifen nur die Wirkung der Elektromagnete auf äußere Körper. Als er das Flintglas in die Höhlung des einen Ruhmkorff'schen Elektromagneten hineinschob, konnte er keine Drehung der Polarisationsebene beobachten. Ein unter diesen Verhältnissen in die Höhlung hineingeschobener Eisenstab würde wohl auch nicht magnetisirt worden seyn. — Erst als der zweite Elektromagnet dem ersteren genähert wurde, konnte eine schwache Wirkung beobachtet werden. —

Die Drehung der Polarisationsebene im Innern einer Magnetisirungsspirale ohne Eisen ist nicht weiter der Gegenstand genauerer Untersuchungen und Messungen gewesen. Den vorhandenen Notizen zufolge scheint die Drehung unter diesen Umständen verhältnißmäßig weit schwächer zu seyn, als die durch Magnetpole bewirkte, wie ich denn auch die Drehung in Wasser, welches in einer messingenen Röhre von 33 Centimeter Länge eingeschlossen, in die S. 495 beschriebenen combinirten Spiralen eingeschoben, bei Anwendung eines sehr starken Stromes nur ungefähr eine Drehung von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Graden zeigte.

Ist das Diamagneticum in eisernen Röhren eingeschlossen, welche in der Magnetisirungsspirale stecken, so erscheint die Drehung der Polarisationsebene durch den Magnetismus des Eisens modificirt, doch ist das Gesetz dieser Modification noch ganz unbekannt. Faraday experimentirte mit drei eisernen Röhren, welche 27 Zoll lang waren und von denen jede $\frac{1}{8}$ Zoll Wanddicke hatte; sie konnten leicht in einander und dann in eine Magnetisirungsspirale von 26,5 Zoll Länge eingeschoben werden. Die engste wurde mit Glasenden versehen und mit Wasser gefüllt; allein

in die Spirale gebracht, wurde ein gewisses Drehvermögen auf den polarisirten Strahl beobachtet. — Nun wurde die zweite Röhre darüber geschoben; jetzt hatte das Wasser ein stärkeres Drehvermögen, als aber endlich noch die dritte Eisenröhre aufgeschoben wurde, war das Drehungsvermögen wieder schwächer.

In diese Kategorie gehören auch die zu Anfang dieses Paragraphen angeführten Beobachtungen Bertin's. Der gesetzliche Zusammenhang dieser Erscheinungen ist, wie bereits bemerkt, erst noch zu ermitteln.

Schließlich muß ich noch bemerken, daß es sehr wünschenswerth wäre, daß die Physiker, welche sich mit diesen oder ähnlichen Untersuchungen beschäftigen, es doch nicht versäumen wollten, die Tangentenbussole in den Schließungskreis einzuschalten, damit die Stromstärke, mit der sie experimentirten, genau bestimmt werden kann.

Magnetischer Zustand aller Substanzen. In der dritten Auflage 268
meines Lehrbuchs der Physik (2ter Theil Seite 271, Näheres über die Anstellung des Versuchs im Anhange, Seite 687) habe ich schon die Grundzüge der von Faraday gemachten Entdeckung mitgetheilt, daß die Pole eines kräftigen Magneten auf alle Körper wirken, theils anziehend, theils abstoßend; daß Körper, bei denen eine Dimension vorherrschend ist, wenn sie sich in horizontaler Ebene frei zwischen zwei Magnetpolen umdrehen können, sich endweder axial oder äquatorial stellen.

Faraday behandelt diese wichtige Entdeckung in der 20sten Reihe seiner Experimentaluntersuchungen (Phil. Trans. f. 1846, p. 21; Pogg. Ann. LXIX, 289). An das in meinem Lehrbuche bereits Mitgetheilte anschließend, habe ich aus der Faraday'schen Abhandlung noch Folgendes nachzutragen.

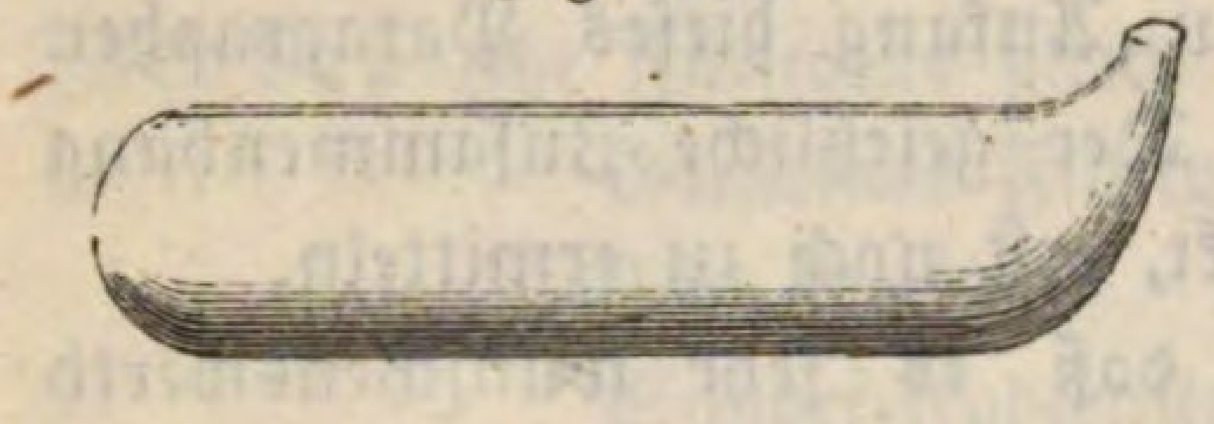
Unter den nicht metallischen Körpern fand Faraday mit seiner neuen Prüfungsmethode folgende Körper schwach magnetisch: Papier, Siegellack, Tusch, Berliner Porzellan, Seidenwurmdarm, Asbest, Flußspath, Mennige, Zinnober, Bleisuperoxyd, Zinkvitriol, Turmalin, Graphit, Schellack und Holzkohle. Diese Körper waren bisweilen ihrer ganzen Masse nach magnetisch, bisweilen nur ein Theil derselben.

Es ist gleichgültig, ob der zu prüfende Körper aus einem Stücke oder ob er aus dem feinsten Pulver besteht. Eine dünne Hülse, mit Wismuthpulver gefüllt, stellt sich eben so äquatorial wie ein Wismuthstäbchen.

Um mit Flüssigkeiten zu experimentiren, füllte sie Faraday in Röhren von ganz dünnem Flintglas. An und für sich stellt sich Flintglas äquatorial, wenn aber die Wände der Röhre sehr dünn sind, so ist der Effect sehr gering, wenn man mit der Röhre allein experimentirt, während die Wirkung der gefüllten Röhre von der Art ist, daß kein Zweifel seyn

kann, daß sie von der Flüssigkeit herrührt. Die Röhren dürfen natürlich nicht mit Wachs, Kork oder irgend einem anderen Körper verschlossen werden, weil diese Körper für sich schon wirken würden. Faraday gab seinen Röhren die Gestalt Fig. 260, die kleine Oeffnung auf der einen Seite, durch welche die Flüssigkeit eingefüllt wird, bleibt offen.

Fig. 260.



Das schwere Glas stellt sich auch noch zwischen den Polen eines guten Stahlmagneten äquatorial, wenn auch mit ungleich geringerer Kraft als bei einem Elektromagneten. Schraubendrähte ohne Eisenkerne brachten eine solche Wirkung nicht hervor.

Folgendes ist die Liste der nicht metallischen Substanzen, welche Faraday mehr oder weniger stark diamagnetisch fand: Schweres Glas, borsaures Bleioxyd, Flintglas, Krownglas, Bergkrystall, schwefelsaurer Kalk, schwefelsaurer Baryt, Glaubersalz, schwefelsaures Kali, schwefelsaure Magnesia, Alaun, Salmiak, Chlorblei, Chlornatrium, Salpeter, salpetersaures Bleioxyd, Soda, Kalkspath, Bleizucker, Brechweinstein, Seignettesalz, Weinsteinsäure, Citronensäure, Wasser, Alkohol, Aether, Salpetersäure, Schwefelsäure, Salzsäure, Auflösungen verschiedener Salze der Alkalien und Erden, Glas, Bleiglätte, arsenige Säure, Jod, Phosphor, Schwefel, Harz, Wallrath, Olivenöl, Terpentinöl, Kautschuck, Zucker, Stärke, Gummi, Holz, Elfenbein, getrocknetes Hammelfleisch, frisches Rindfleisch, Blut, Leder, Aepfel, Brod u. s. w.

Faraday bemerkt hierzu: »Es ist sonderbar, eine Liste von Körpern »wie diese zu sehen, welche sämmtlich die merkwürdige Eigenschaft zeigen, »und seltsam macht es sich, daß Holz, Fleisch oder ein Apfel dem Magnet »gehorcht oder von ihm abgestoßen wird. Wenn ein Mensch nach Du- »fay'scher Weise mit hinlänglicher Empfindlichkeit aufgehängt und in »das magnetische Feld gebracht werden könnte, würde er sich äquatorial »richten; denn alle Substanzen, aus denen er gebildet ist, mit Einschluß »des Blutes, besitzen diese Eigenschaft.«

Da sich bis dahin kein Zusammenhang zwischen dem Verhalten der Körper gegen Magnetpole mit Leitung oder Nichtleitung, Durchsichtigkeit oder Undurchsichtigkeit, Starrheit oder Flüssigkeit, krystallinischem oder amorphem Zustand, Ganzheit oder Zerstückelung gezeigt hatte, so war es, sagt Faraday, von hohem Interesse, zu erfahren, ob die Metalle sich diesem allgemeinen Verhalten anschließen oder von ihnen absondern würden.

Das zu prüfende Metall wurde in Form eines Stäbchens zwischen die Pole des Elektromagneten gebracht. Als magnetisch betrachtet Fa-

raday diejenigen, die sich axial stellen, während diejenigen, welche die äquatoriale Lage annehmen, als diamagnetisch bezeichnet sind. Folgendes sind die Metalle, welche Faraday diamagnetisch fand, und zwar nach der Stärke des Diamagnetismus geordnet: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Quecksilber, Silber, Kupfer.

Außer den bekannten magnetischen Metallen; Eisen, Nickel und Kobalt nehmen noch Platin, Palladium und Titan die axiale Stellung an.

Wenn der cylindrische Elektromagnet vertical gestellt ist, so bildet jeder Pol eine horizontale kreisrunde Fläche. Hängt man ein Wismuthkügelchen gerade über den Mittelpunkt eines Poles, so zeigt sich keinerlei Abstoßung; führt man die Kugel gegen den Rand des Poles hin, so wird sie nach Innen abgelenkt; genau über dem Rande des Pols zeigt sich wiederum keine Bewegung, über denselben hinaus geführt, macht sich aber eine nach Außen gerichtete Abstoßung geltend. Es erklärt sich dies dadurch, daß gerade von der Kante des Poles die kräftigste magnetische Wirkung ausgeübt wird.

Bestreut man ein auf den horizontalen Pol gelegtes Stück Papier mit fein gepulvertem Wismuth, so zieht es sich, wenn der Elektromagnet in Thätigkeit ist, von der Kante des Eisenkernes zurück, eine kreisrunde Linie bloßlegend; ist aber der Elektromagnet nicht in Thätigkeit, so kann man das Papier betupfen, ohne daß sich etwas der Art zeigt.

Das Wismuth wird gut gerichtet und abgestoßen, wenn es in Wasser, Alkohol, Aether u. s. w. eingetaucht, auch wenn es in Gefäße von Steingut, Glas, Kupfer, Blei u. s. w. eingeschlossen oder durch Schirme von Wismuth, Kupfer oder Blei geschützt ist. Selbst innerhalb eines eisernen Gefäßes aufgehängt, wird es gut und frei von dem Magnetpol abgestoßen.

Zuerst wurde die Abstoßung des Wismuths durch Magnetpole von Brugmans im Jahre 1778 beobachtet; Le Baillif fand sie 1827 und hielt sie für neu.

Faraday erwähnt diese älteren Beobachtungen, die aber ihrer Zeit als isolirt stehende Erscheinungen wenig Beachtung fanden; erst durch seine Forschungen ist dies Verhalten gegen die Magnetpole als eine Eigenschaft aller nicht magnetischen Körper erkannt und dadurch ein neues Feld für die Elektricitätslehre gewonnen worden.

Nachdem Faraday die normalen Erscheinungen beschrieben hat, welche an Stäbchen diamagnetischer Körper beobachtet worden, geht er zur Betrachtung einiger anomalen Erscheinungen über, die er vorzugsweise an Kupferstäbchen beobachtete. Weil uns bis jetzt noch der Schlüssel zur vollen Erkenntniß dieser Eigenthümlichkeiten fehlt, so dürfte es auch

am zweckmäßigsten seyn, nur das Wesentlichste der Erscheinung, und zwar mit Faraday's eigenen Worten, anzuführen.

»Hängt ein Kupferstab zwischen den Polen und entwickelt man deren »Kraft in dem Moment, da er eine schiefe Lage zwischen der axialen und »äquatorialen Linie besitzt, so geht er auf die axiale Lage zu, wie wenn er »magnetisch wäre, er setzt jedoch seine Bewegung nicht bis zur Ankunft in »jene Lage fort, sondern hält rasch ein, und kommt, ohne eine Schwin- »gung zu machen, alsbald zu einer todten Ruhe; dies geschieht selbst, wenn »der Stab vermöge der Torsion oder einer andern Ursache sich von hier »mit einer Kraft bewegte, die ihn mehrmals im Kreise herum gedreht »hätte. — —

»Die Lage, welche der Stab angenommen hat, behauptet er mit einem »bedeutenden Grad von Hartnäckigkeit, so lange die Magnetkraft unter- »halten wird. Wird er aus ihr abgelenkt, so kehrt er nicht in dieselbe »zurück, sondern nimmt die neue Stellung in derselben Weise ein und be- »harrt in derselben eben so fest. Ein Stoß, welcher den Stab, wenn kein »Magnetismus vorhanden wäre, mehrmals im Kreise herumdrehen würde, »bewegt ihn nur um 20⁰ bis 30⁰. — — — Die vom Stab angenommene »Lage kann eine jegliche seyn. — — —

»Wenn der elektrische Strom unterbrochen wird, nachdem der Magne- »tismus zwei bis drei Secunden unterhalten worden war, so erfolgt au- »genblicklich eine starke Wirkung auf den Stab, welche wie ein Rückstoß »aussieht (denn der Stab geht zurück in der Bewegung, welche er beim »Schließen der Kette auf einen Moment annahm), allein mit solcher Ge- »walt, daß wenn er vielleicht 15⁰ bis 20⁰ vorgerückt ist, der Rücksprung »manchmal zwei bis drei ganze Umdrehungen beträgt. —

»Dieselbe Trägheit findet sich auch bei einem Würfel und bei einer Ku- »gel von Kupfer, allein die Erscheinungen der ersten Drehung und des »Rücksprungs hören auf. — — —

»Andere Metalle zeigen diese Erscheinungen auch, aber um so schwächer, »je weniger gut leitend sie sind. Wismuth und schweres Glas zeigen nichts »der Art.«

Faraday versucht nun diese Erscheinungen auf die Bildung von Inductionsströmen zurückzuführen, welche im Kupfer entstehen, einestheils durch seine Bewegung zwischen den Magnetpolen, anderntheils, daß nach Schließung der Kette der Magnetismus des Eisens einige Zeit braucht, um bis zu seinem Maximum zu wachsen und nach Aufhören des galvanischen Stromes zu verschwinden. Klar ist, daß eine Kupfermasse, welche zwischen zwei Magnetpolen oscillirt, in Folge der dabei auftretenden Inductionsströme sehr bald zur Ruhe kommen muß, wie ja auch eine Magnetnadel über einer Kupferscheibe bald zur Ruhe kommt. Dieser die

Bewegung hemmende Einfluß kann aber durchaus nichts änderen in der Richtung, welche die Kupferstange einzunehmen hat, so wenig wie durch die in der Kupferscheibe inducirten Ströme die Magnetnadel gehindert wird, sich in den magnetischen Meridian einzustellen. Wie aber Faraday durch die beim Schließen der Kette im Kupferstäbchen inducirten Ströme die kurze Bewegung gegen die axiale Lage hin erklären will, ist mir wenigstens aus seiner Auseinandersetzung nicht klar geworden; auch sehe ich nicht recht ein, auf welche Thatsachen gestützt Faraday das Kupfer in die Reihe der diamagnetischen Metalle setzt.

Gehen wir nun zur einundzwanzigsten Reihe von Faraday's Experimentaluntersuchungen über (Phil. transact. f. 1846, p. 41; Pogg. Ann. LXX. 24).

Ein glühender Eisendraht stellt sich zwischen den Polen des Elektromagneten noch axial, doch ist die richtende Kraft sehr schwach. Beim Abkühlen wurde keine allmälige Zunahme der magnetischen Kraft bemerkt, bis die Temperatur zu einem gewissen Punkt gelangt; das Eisen erlangte nun rasch, obwohl nicht instantan, seine hohe Magnetkraft und flog dann einem Pole zu.

Wie das Eisen, so wird auch das Nickel bei steigender Temperatur indifferent gegen gewöhnliche Magnete, und zwar schon bei der Temperatur des siedenden Oels; zwischen den Polen des Elektromagneten wurde es aber noch axial gestellt, wenn auch mit geringer Kraft, wie hoch auch die Temperatur stieg. Bei sorgfältiger Senkung der Temperatur des Nickels ergab sich, daß auch seine Magnetkraft allmälig zunahm.

Eisenoxyde, Nickel- und Kobaltoxyd zeigten sich magnetisch, und zwar sowohl kalt als warm.

Zu den Eisensalzen übergehend, fand Faraday auch diese magnetisch, d. h. sie stellten sich axial. Es zeigte sich magnetisch: das Chlorür, Chlorid, Oxydulsulphat, Oxydsulphat, Nitrat u. s. w., von Eisen eben so Berlinerblau; unter den natürlichen Eisenverbindungen waren es Sumpferz, Blutstein, Chromeisenstein, Schwefelkies u. s. w.

Grünes Bouteillenglas ist wegen seines Eisengehaltes sehr stark magnetisch. — Krystalle von gelbem und rothem Blutlaugensalz hingegen stellten sich äquatorial.

Auch die Lösungen der oben genannten Eisensalze stellen sich, in Glasröhren gefüllt, axial.

Krystalle von schwefelsaurem Nickeloxyd und schwefelsaurem Kobaltoxyd wurden eben so wie ihre Lösungen magnetisch gefunden; eben so die Lösung von Nickelchlorid und Kobaltchlorid.

Die Lösungen von Salzen diamagnetischer Metalle zeigten sich nicht magnetisch.

Es wurden drei Lösungen von Eisenvitriol vorgerichtet, von denen die erste 16 Procent, die zweite 4 Procent, die dritte endlich 1 Procent Salz enthielt. In Glasröhren gefüllt, stellten sich alle drei Lösungen axial, wenn auch die richtende Kraft mit der Concentration der Lösung abnahm. Wurde zwischen die Magnetpole ein Gefäß mit Wasser oder Alkohol gebracht und dann die Röhre mit der Vitriollösung in diese Flüssigkeiten hineingesenkt, so stellte sie sich axial, wie in Luft; enthielt aber das Gefäß auch eine Lösung von Eisenvitriol, so stellte sich die Röhre nur dann axial, wenn die Lösung in der Röhre concentrirter war als die sie umgebende. Eine Röhre mit der Lösung Nr. 2 stellte sich axial in der Lösung Nr. 3, äquatorial in Nr. 1; in Nr. 2 war sie indifferent; Nr. 3 stellt sich in den beiden anderen Lösungen äquatorial, Nr. 1 stellt sich axial in Nr. 2 und Nr. 3.

Gleiche Resultate gaben Lösungen anderer Eisensalze.

Da die magnetischen Metalle, Eisen, Nickel und Kobalt, in ihren Verbindungen ebenfalls Substanzen von magnetischen Eigenschaften darstellen, so schien es sehr wahrscheinlich, daß andere Metalle, hinsichtlich deren magnetischen Charakters, wegen eines möglichen Eisengehaltes der untersuchten Proben, Zweifel obwalten, auf diese Weise, nämlich durch Prüfung ihrer Verbindungen, in Bezug auf ihren magnetischen Charakter geprüft werden könnten.

W o l l a s t o n hat die magnetischen Wirkungen des T i t a n s beschrieben und in der That stellte sich auch reines T i t a n o x y d axial.

M a n g a n ist, nach B e r t h i e r's Angaben, bei sehr niedrigen Temperaturen magnetisch. F a r a d a y fand, daß sich Manganoxyd, Manganoxydul und gereinigte Mangansalze, letztere sowohl als Krystalle als in Lösung axial stellten.

C h r o m o x y d und C h r o m o x y d u l stellen sich axial, aber die Lösungen von c h r o m s a u r e m und d o p p e l t c h r o m s a u r e m K a l i zeigen sich diamagnetisch, wohl deshalb, weil die diamagnetische Wirkung der Körper vorwiegt, mit welchen das schwach magnetische Chrom verbunden ist.

P l a t i n c h l o r i d, sowohl trocken als in Lösung, stellte sich äquatorial, P l a t i n s c h w a m m aber axial.

Auf ähnliche Weise untersuchte F a r a d a y noch viele Metalle und stellt sie nach ihrem magnetischen Verhalten geordnet in folgender Weise zusammen:

Magnetisch	Diamagnetisch
	Wismuth
	Antimon
	Zink
	Zinn
	Kadmium
	Natrium
Eisen	Quecksilber
Nickel	Blei
Kobalt	Silber
Mangan	Kupfer
Chrom	Gold
Cer	Arsen
Titan	Uran
Palladium	Rhodium
Platin	Iridium
Osmium	Wolfram.

0

Als Nullpunkt ist derjenige Zustand angenommen, wo ein Metall oder eine Substanz, was Anziehung oder Abstoßung betrifft, sich indifferent verhält. Je weiter eine Substanz von diesem Punkt gestellt ist, desto entschiedener tritt seine Anziehung oder Abstoßung gegen den Magneten hervor. Bei genauerer Prüfung wird die obige Ordnung der Metalle wohl noch Modificationen erfahren.

Faraday experimentirte nun mit Gasen. Er fand, daß sie sich durchaus neutral verhalten.

Eine dünne Glasröhre verhält sich zwischen den Polen eines Elektromagneten ganz gleich, mag sie nun Luft, ein anderes Gas oder einen Dampf enthalten, mag das Gas verdichtet oder verdünnt seyn, so weit man mit Hülfe einer Luftpumpe evacuiren kann. Die Wirkung ist lediglich durch den Einfluß der Magnetpole auf die Glaswand bestimmt; der gasförmige Inhalt der Röhre ändert nichts. — Eben so verhalten sich andere aufgehängte Körper zwischen den Polen des Elektromagneten ganz auf gleiche Weise, mögen sie nun von Luft oder einem andern Gas oder vom Vacuum umgeben seyn.

Faraday schloß daraus, daß die Gase vielleicht in der Mitte zwischen den magnetischen und diamagnetischen Körpern stehen, was jedoch, wie wir alsbald sehen werden, nicht der Fall ist; ihr neutrales Verhalten in dem eben betrachteten Falle erklärt sich, wie Faraday bemerkt, auch dadurch, daß die Gase zu wenig dicht sind, um den Einfluß der in

dem Versuch gleichzeitig zur Wirkung kommenden festen Körper zu modificiren.

269 **Theorie des Diamagnetismus.** Den Schluß der 21sten Reihe von Experimentaluntersuchungen bildet eine Reihe von Betrachtungen über die besprochenen Phänomene. Das Verhalten der diamagnetischen Körper gegen Magnetpole ließe sich wohl, wie Faraday bemerkt, durch die Annahme erklären, daß in einem solchen Körper, also z. B. in einem Wismuthstäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'schen Strömen des Magneten entgegengesetzt sind, so daß gleichnamige Pole einander gegenüber zu stehen kämen, während in magnetischen Metallen mit dem Magneten gleichgerichtete Ströme gebildet werden, so daß sich ungleichnamige Pole einander gegenüberstehen. Dies würde den Strömen in diamagnetischen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche zu Anfang des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetischen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören desselben inducirenden Stromes entstehen. Faraday hat diese Ansicht aber weder ausgebildet noch festgehalten, sondern gegen die von einer indifferenten Repulsion vertauscht, hauptsächlich deshalb, weil man an zwei Wismuthstäben, welche gleichzeitig dem Einfluß eines kräftigen Magneten ausgesetzt sind, bisher keine gegenseitige Einwirkung wahrgenommen hat.

Welche von diesen beiden Ansichten die richtige sey, kam zunächst durch Reich's Versuche zur Entscheidung.

Um über die Abstoßung diamagnetischer Körper durch Magnetpole Versuche anzustellen, wandte Reich eine zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde hergerichtete Drehwage an (Bericht über die Verhandlungen der k. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Sitzung vom 18ten Mai 1847; Pogg. Ann. LXXIII. 60). An einem starken eisernen an einer massiven Mauer befestigten Arme hängt mittelst eines Kupferdrahtes ein horizontaler hölzerner Arm von 2 Meter Länge, und an jedem Ende desselben mittelst feiner Metalldrähte einer Metallkugel; das Ganze ist in einem hölzernen Gehäuse eingeschlossen, welches aber nirgends mit der Drehwage in Berührung ist. Der Arm trägt einen Spiegel, in welchem mit einem Fernrohre an einer entfernten Scala die Stellung des Armes beobachtet wird.

Die anhängenden Kugeln bestanden aus Zinn mit 10 Procent Wismuth und etwa 2 Procent Blei. Als von der Seite her einer Kugel der Pol eines Magneten genähert wurde, entstand eine deutliche Abstoßung. Ein solcher Versuch gab z. B. folgende Resultate. Der Arm stand auf 41,5 der Scala. Als nun der Nordpol eines vierpfündigen Magnetstabes ge-

nähert wurde, brachte er den Arm auf 53,14; der Südpol brachte ihn auf 54,05. Nach entferntem Magnet stellte sich der Arm wieder auf 42,80. Nimmt man aus der ersten und letzten Ruhelage bei entferntem Magnete das Mittel, so ergiebt sich:

Abstoßung durch den Nordpol . . 11,445 Scalentheile
» » » Südpol . . 13,300 »

Die Differenz mag in einer unsymmetrischen Vertheilung des Magnetismus im Magnetstabe ihren Grund haben.

Wäre diese Abstoßung eine indifferente, so müßten ein Nordpol und ein Südpol, von derselben Seite her einer diamagnetischen Kugel genähert, ihre Wirkungen gegenseitig verstärken; ist aber die Abstoßung die Folge einer magnetischen Vertheilung im Sinne der früheren Faraday'schen Ansicht, so müssen sich die Wirkungen zweier gleichen von derselben Seite her genäherten ungleicharmigen Pole gegenseitig aufheben.

Reich stellte den Versuch wirklich an, er näherte der Kugel von derselben Seite her mehrere Magnetstäbe und zwar zur Hälfte mit dem Nordpol, zur Hälfte mit dem Südpol; auf diese Weise war gar keine oder nur eine unbedeutende von der Ungleichheit der angewandten Magnete herrührende Wirkung wahrzunehmen, woraus hervorgeht, daß die Wirkung der Nordpole die Wirkung der Südpole aufhebt.

Die Zinnkugeln wurden mit Kugeln von Wismuth vertauscht und dann die Stärke der Abstoßung für verschiedene Entfernungen zwischen der Kugel und dem Magnetpole gemessen; Reich folgert aus diesen Versuchen, daß:

1) die abstoßende Wirkung vorzugsweise auf die zugewendete Oberfläche des diamagnetischen Körpers stattfinde, und

2) daß diese Abstoßung abnehme, wie die dritte Potenz der Entfernung des Magnetpols zunimmt.

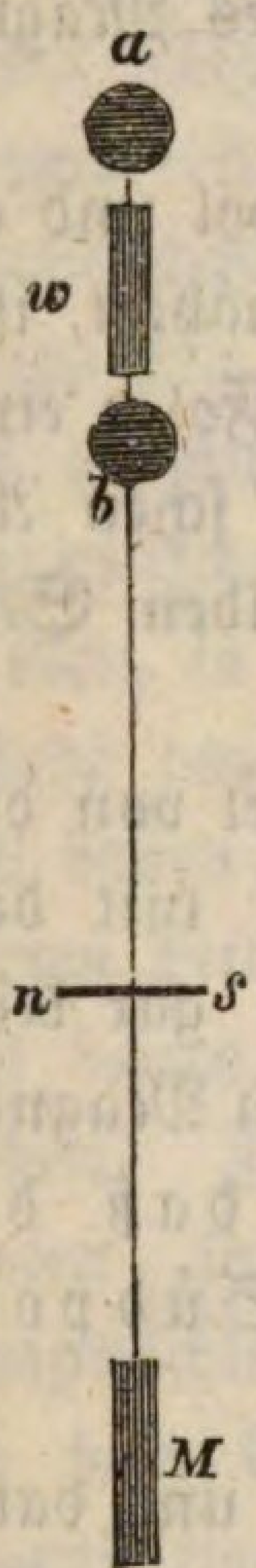
Nachdem Reich durch seine Versuche dargethan hatte, daß die diamagnetische Abstoßung des Wismuths die Folge einer durch den Magnetpol im Diamagneticum hervorgerufenen Polarität ist, unternahm es Weber, die Natur derselben näher zu ermitteln, wobei ihm die bereits angeführte erste Vorstellung Faraday's von dem Wesen des Diamagnetismus zum Ausgangspunkt diente.

Wenn in einem diamagnetischen Körper durch die Nähe eines Magnetpols wirklich eine Polarität hervorgerufen wird, welche mit der des wirksamen Magnetpols gleichnamig ist, so müssen, schloß Weber, die diamagnetischen Pole unter Umständen auch anziehend auf einen Magnetpol wirken können. Zu diesem Zweck darf man aber nicht diejenige Kraft beobachten, welche das diamagnetische Wismuth auf denjenigen Magnet-

pol ausübt, von welchem es selbst diamagnetisirt worden ist, sondern man muß solche Kräfte beobachten, welche jenes Wismuth auf andere Magnetpole in der Ferne ausübt, welche keinen Einfluß auf seinen diamagnetischen Zustand haben.

Weber hat diesen Fall auf folgende Weise verwirklicht. Es sei ns, Fig. 261, eine kleine Magnetnadel, welche an einem Coconfaden aufgehängt ist; ein Wismuthstäbchen w nun, welches sich in einer Ebene befindet, welche die Magnetnadel rechtwinklig halbirt, wird nach Reich's Erfahrung für sich keinerlei Ablenkung auf die Magnetnadel ausüben können. Wird nun ein Elektromagnet so aufgestellt, daß w gerade in die Mitte zwischen die beiden Pole a und b desselben zu liegen kommt, und dann das Wismuthstäbchen entfernt, so wird der Elektromagnet die Magnetnadel allerdings kräftig ablenken, man kann aber diese Einwirkung dadurch wieder neutralisiren, daß man einen Magnetstab M in entsprechender Lage und Entfernung auf der andern Seite der Magnetnadel anbringt.

Fig. 261.



Bringt man nun nach diesen Vorbereitungen dasselbe Stück Wismuth, welches vorher auf die Nadel gar nicht wirkte, an die nämliche Stelle wie früher, d. h. zwischen die beiden Pole des Elektromagneten, so zeigt sich nun eine sehr wahrnehmbare und meßbare Wirkung, nämlich eine Ablenkung der Nadel in Folge davon, daß der eine Pol abgestoßen, der andere angezogen wird.

Kehrt man die Pole der Magnete (ab und M), deren Wirkungen auf die Nadel sich compensiren, um und wiederholt man dann den Versuch, so findet man, daß das nämliche Stück Wismuth, an die nämliche Stelle und in die nämliche Lage gebracht, jetzt gerade die entgegengesetzte Ablenkung hervorbringt.

Vertauscht man das Stück Wismuth mit Eisen, so findet man, daß die vom Eisen hervorgebrachte Ablenkung stets die entgegengesetzte von der ist, welche das Wismuth unter denselben Verhältnissen bewirkt.

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, so werden in demselben nach den bekannten Gesetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'schen Strömen des Magneten entgegengesetzt sind; wird z. B. ein Kupferstäbchen dem Nordpol eines Magneten genähert, so wird das dem Magneten zugekehrte Ende des Kupferstücks durch diese inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, selbst zu einem Nordpol; Gleiches wird nun auch in einem Wismuthstäbchen der Fall seyn, wie es Weber auch durch den Versuch gezeigt hat.

Auf den oberen Pol eines kräftigen, stabförmigen Elektromagneten wurde eine Drahtrolle gelegt, welche bei 140^{mm} Länge eine innere Höhlung von 15^{mm} Durchmesser hatte; ihre Enden waren mit einem empfindlichen Multiplicator verbunden. War nun der Elektromagnet in Thätigkeit, so zeigte die Ablenkung des Multiplicators, daß ein Wismuthstab beim Einschieben in die Inductionsrolle, also während der Annäherung gegen den Magnetpol, eine der obigen Auseinandersetzung entsprechende Polarität annimmt.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird also ein Wismuthstab durch Induction in einen polaren Zustand versetzt, welcher demjenigen ganz gleich ist, welchen wir zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen müssen. Bekanntlich sind aber die Ströme, welche in der Masse eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, sie verschwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in seiner Stellung gegen den Magneten verbleibt; um also die Erscheinungen des Diamagnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu zeigen, wie es möglich ist, daß dieser bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zustand ein bleibender seyn kann, so lange sich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetische Fluida vorhanden, wie im Eisen, oder wäre, was auf dasselbe hinauskommt, jedes Wismuthmolekül schon von einem continuirlichen Strome unkreist, wie wir uns die Ampère'schen Ströme um die Eisenmoleküle denken, so könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eisen auch, d. h. er müßte die Fluida in der bekannten Weise scheiden oder er müßte die schon vorhandenen Molekularströme denen des einwirkenden Magnetpoles parallel stellen, kurz, auf schon vorhandene, durch den Magneten erst zu richtende Molekularströme lassen sich also die Erscheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetischen Körper seine Polarität ertheilen, müssen also erst bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, daß der Magnetismus in demselben entsteht, gebildet werden, sie dürfen aber nicht vorübergehend seyn, wie die gewöhnlichen in der Masse von Leitern inducirten Ströme, sondern sie müssen beharrlich seyn, sie müssen so lange andauern, als der diamagnetische Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies ist nun durch die Annahme zu erklären möglich, daß in dem diamagnetischen Körper Molekularströme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Moleküle des diamagnetischen Körpers umkreisen, sich aber nicht in der Masse derselben, von einem Molekül zum andern fortschreitend, bewegen.

Der Unterschied zwischen Strömen, welche durch Leiter in größeren Kreisen sich bewegen, und den Molekularströmen besteht nur darin, daß die strömende Elektricität der ersteren beim Vorübergehen an den Molekülen des Leiters einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerstand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft so schnell entzogen wird, daß sie in einer unmeßbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muß, wenn ihr der erlittene Verlust nicht durch fortdauernde elektromagnetische Kräfte immer wieder ersetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molekularströmen, welche nicht durch den Leiter von Molekül zu Molekül fortgehen, sondern sich um ein einziges Molekül herumbewegen, für die also jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft wegfällt. Diese Ströme beharren also ohne elektromotorische Kraft in gleicher Intensität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, so können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden, die gewöhnlichen Inductionsströme, welche sich durch die Masse des Körpers bewegen und mit den inducirenden Kraft verschwinden, und inducirte Molekularströme, welche auf ihrem Wege um die Moleküle herum keinen Widerstand finden und ungeschwächt fortdauern müssen, bis in Folge einer neuen entgegengesetzten Induction neue entgegengesetzte Molekularströme hinzukommen, welche die ältern aufheben.

Nach der Weber'schen Theorie des Diamagnetismus sind also die hierher gehörigen Erscheinungen durch Molekularströme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, daß in einem benachbarten Pole der Magnetismus entsteht, und welche so lange fortdauern, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des Diamagneticums von demselben eine entgegengesetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in größeren Kreisen sich bewegenden Inductionsströme können sich in Isolatoren nicht bilden, inducirte Molekularströme sind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. schweres Glas, von den Magnetpolen abgestoßen werden und sich äquatorial stellen.

Auch Poggendorff hat zwei Methoden angegeben, um die diamagnetische Polarität nachzuweisen (Pogg. Annalen LXXIII, 475). Das erste Verfahren besteht darin, daß man einem Wismuthstäbchen, während es neben dem einen Pol, z. B. dem Nordpol, eines kräftigen Elektromagneten an einem Coconfaden in äquatorialer Lage hängt, von derselben Seite her den Südpol eines kleinen Stahlmagneten nähert. Bei einiger, sich leicht ergebender Vorsicht kann man dann deutlich sehen, daß die dem elektromagnetischen Pol zugewendete Seite des Stäbchens vom Stahlmagnet angezogen wird.

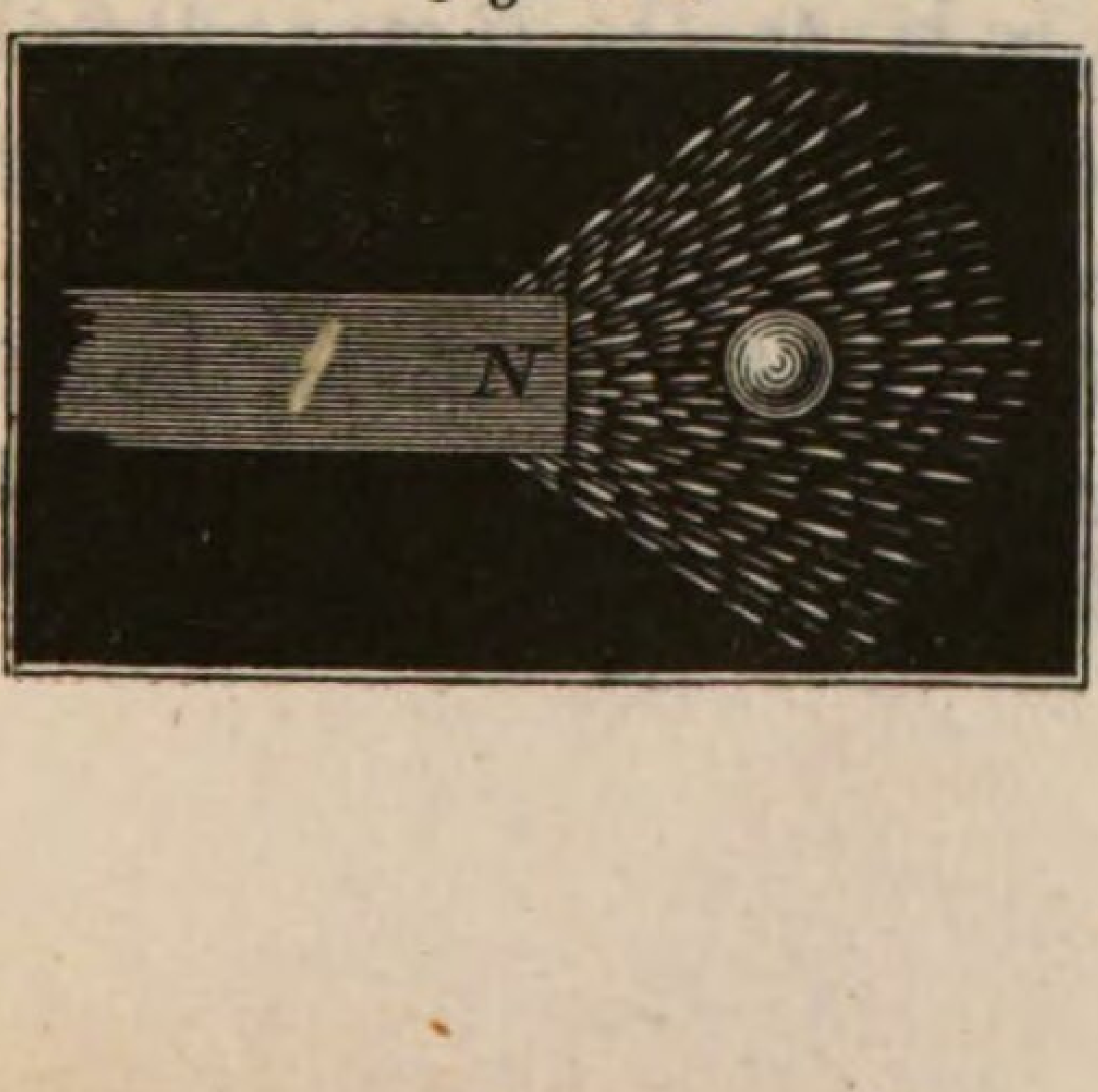
Noch überzeugender ist das zweite Verfahren, welches von dem ersten darin abweicht, daß man den Stahlmagneten durch einen galvanischen Strom ersetzt. Das Wismuthstäbchen wird zu dem Ende zwischen beiden Polen des Elektromagneten aufgehängt und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, dessen Windungen das Stäbchen bei seiner äquatorialen Stellung rechtwinklig umgeben würden. Ein Strom, welcher durch die Spirale geht, wirkt nicht auf das Wismuthstäbchen, so lange der Elektromagnet nicht in Thätigkeit ist. Wenn aber der Elektromagnet in Wirksamkeit gesetzt und das Wismuthstäbchen dadurch in die äquatoriale Lage gebracht worden ist, kann man es aus dieser Lage ablenken, sobald man einen Strom durch die Spirale gehen läßt, und zwar rechts oder links, je nach der Richtung des Stroms und zwar immer in dem Sinn, wie die Ablenkung erfolgen muß, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen besitzen.

Hankel hat ebenfalls versucht, eine Theorie des Diamagnetismus zu construiren. Der Grundgedanken dieser Theorie spricht er in folgenden Worten aus (Pogg. Ann. LXXV, 112):

»Das Licht und die strahlende Wärme wirken durch die verschiedenen »Körper hindurch, durchdringen sie aber niemals ohne Verlust, der theils »an ihrer Oberfläche, theils in ihrem Inneren stattfindet. Sollte die »magnetische Kraft allein ganz ungehindert durch die verschiedenartigen »Substanzen hindurchdringen? Wenn dem nicht so ist, so werden die von »diesen ausgehenden magnetischen Kraftlinien, sobald sie eine in ihrer »Bahn beliebig gelegene Substanz durchdringen wollen, einen Widerstand »finden, den ich mit einer Reibung vergleichen möchte. Durch diesen Wi»derstand wird ein Theil der magnetischen Kraftlinie aufgehalten oder ver»nichtet. Der von dem eingeschalteten Körper erzeugte Widerstand wird »nun an die Masse desselben übertragen werden und ein leicht beweglich »aufgehangener Körper muß in Folge dessen eine Richtung annehmen, in »welche die von zwei oder mehreren Magnetpolen ausgehenden Kraftlinien »sich hinsichtlich dieses Widerstandes oder der dadurch übertragenen Kräfte »im Gleichgewichte finden.«

»Das Vorstehende wird sogleich deutlicher werden, sobald wir einige spe»cielle Fälle betrachten.«

Fig. 262.

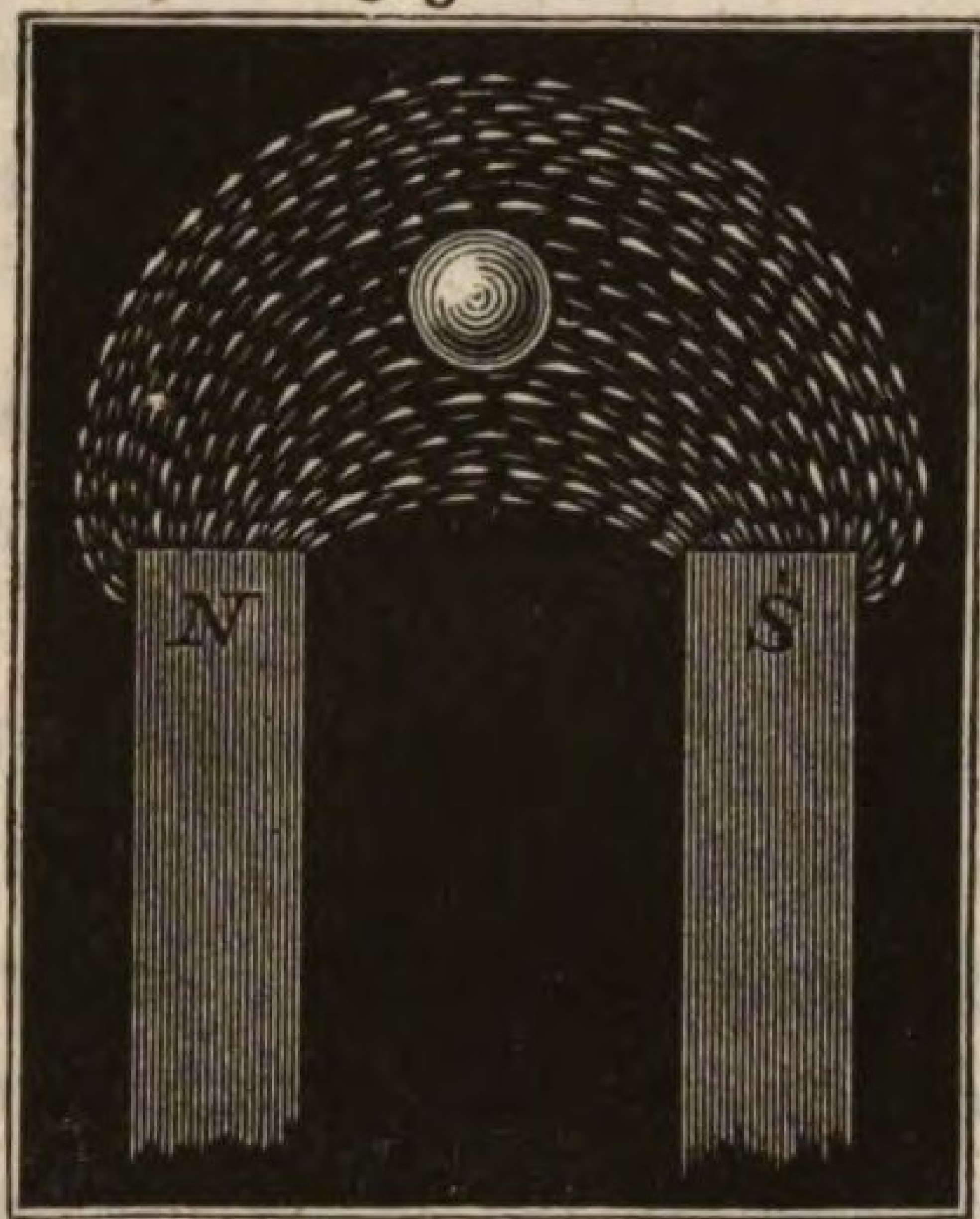


»Es sei N Fig. 262 der Nordpol »eines Magneten; dann werden die »magnetischen Kraftlinien etwa die »durch die kleinen Striche angedeutete »Richtung haben. Eine vor dem »Magnetpole an einem langen Cocon»faden aufgehangene kleine Wismuth-

»kugel wird von dem Pole N abgestoßen werden, weil die magneti»schen Kraftlinien beim Durchgange durch die Kugel auf Hindernisse sto»ßen. Durch diese, gewissermaßen als Reibung zu bezeichnende Wirkung »wird die Kugel von den Stellen der stärkeren Wirkung zu den Stellen »der schwächeren Wirkung übergeführt, bis dieser äußerlich als Abstoßung »erscheinenden Kraft durch das Gewicht der Wismuthkugel das Gleichge»wicht gehalten wird. Ein Gleiches erfolgt auch, wenn der angewandte »Pol ein Südpol ist.«

Hankel wendet nun seine Theorie auf die verschiedenen diamagnetischen Erscheinungen an. Die Beobachtung Reich's, daß eine Wismuthkugel nicht abgestoßen wird, wenn von derselben Seite her ein Nord- und ein Südpol von gleicher Stärke genähert wird, erklärt er dadurch, daß für diesen Fall die Magnetkraftlinie die Fig. 263 dargestellte Lage habe.

Fig. 263.



Zugegeben, daß Hankel's Theorie alle Erscheinungen des Diamagnetismus ebenso gut zu erklären im Stande sey, wie die von Weber aufgestellte, so läßt sich doch das Bedenken nicht unterdrücken, daß die Hankel'sche Theorie so ganz allen Zusammenhangs mit den Vorstellungen entbehrt, die wir uns gegenwärtig von allen übrigen magnetischen und elektrischen Erscheinungen machen.

270 **Diamagnetismus der Flamme.** Die früheren Versuche Faraday's gaben auf das Verhalten der Gase gegen Magnetpole keine entscheidenden Resultate; es blieb zweifelhaft, ob die Gase auf den magnetischen Nullpunkt zwischen die magnetischen und diamagnetischen Körper zu stellen seyen, oder ob die negativen Resultate daher rührten, daß die Masse der Gase zu unbedeutend war, um die Wirkung der Magnetpole auf die Wandungen der dünnen Röhren zu modificiren, in welchen die Gase eingeschlossen waren.

Um die Universalität des Magnetismus darzuthun, machte Bancalari von Genua auf der im Herbst 1847 zu Venedig gehaltenen Versammlung italiänischer Naturforscher Versuche über das Verhalten der Flamme gegen Magnetpole, um auf diese Weise die Wirkung des Magnetismus auf Gase zu verificiren. Es ergab sich, daß die Flamme, zwischen die Pole eines Elektromagneten gestellt, im Augenblicke der Herstellung des elektrischen Stromes eine Abstoßung erfährt, und bei Unterbrechung desselben sogleich wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt

Zantedeschi wollte den Versuch wiederholen; anfangs glückte es ihm nicht, später aber gelang es ihm, die Erscheinung selbst mit sehr geringen Mitteln hervorzubringen. (Gazz. Piemont. 1847, 12. Oct. Nr. 242; Pogg. Ann. LXXIII, 286.)

Nachdem Faraday Nachricht von den oben besprochenen Resultaten der italiänischen Naturforscher erhalten hatte, stellte auch er Versuche über das Verhalten der Flamme zwischen Magnetpolen an; er fand alsbald das Hauptresultat, nämlich den Diamagnetismus der Flamme, bestätigt. Im Wesentlichen fand stets eine Abstoßung der Flamme durch die Magnetpole statt, welche sich dadurch zeigte, daß sie, von den axialen Dimensionen zurückweichend, sich mehr in äquatorialer Richtung ausdehnt. (Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXI pag. 401. Pogg. Ann. LXXIII, 256.)

Auch Plücker hat, und zwar ganz selbstständig, über diesen Gegenstand experimentirt, und ähnliche Resultate erhalten, wie Bancalari, Zantedeschi und Faraday. Was die näheren Details der Erscheinung betrifft, so wollen wir der Plücker'schen Beschreibung folgen, weil er sie durch Abbildungen verdeutlicht hat. (Pogg. Ann. LYYIII, 549.)

Um die Frage über den Diamagnetismus der Gase zur Entscheidung zu bringen, suchte Plücker zuerst die Masse der dieselben einschließenden Hüllen möglichst zu vermindern. Er experimentirte mit Seifenblasen, erhielt aber nur negative Resultate und wandte sich deshalb zur Untersuchung gefärbter Gase ohne Hüllen.

Die auf die Polflächen seines Elektromagneten aufgelegten Halbanker waren mit conischen Spitzen versehen, die einander auf 3,5^{mm} genähert wurden. Unter dieselben wurde eine etwas dickere, vorher erwärmte Platinplatte gebracht und das Ganze mit dem oben offenen Glaskasten der Torsionswage überdeckt. Als nun Jodstückchen auf die Platinplatte gebracht wurden, stiegen die Joddämpfe in Form einer schmalen geraden Säule zwischen den Polspitzen in die Höhe; die Schließung der Kette bewirkte aber, daß sie sich in der Höhe der Polspitzen augenblicklich theilte und in der Aequatorialebene eine Parabel bildete, die bis zu einer Höhe von 100 bis 150^{mm} noch ganz scharf blieb. Dieser Versuch beweist, daß die Joddämpfe von beiden Polen eines Magneten abgestoßen werden.

Aehnlich verhalten sich Bromdämpfe, Chlor, salpetrige Säure, sichtbarer Wasserdampf u. s. w., alle zeigten sich stärker diamagnetisch als die Luft.

Da die verschiedenen Flammen nichts anderes sind, als die bei dem Verbrennungsprocesse erzeugten, im glühenden Zustande befindlichen Gase mit oder ohne beigemischte glühende feste Stoffe, so wandte sich Plücker nun zur Untersuchung des Einflusses, welchen die Magnetpole auf die

Flammen ausüben. Unter den mannigfaltigen Formen, welche die Erscheinung darbietet, je nachdem man Form und Entfernung der Halbanker oder die Natur der Flammen selbst abänderte, wollen wir einige der charakteristischsten hervorheben.

Die Polspitzen waren durch einen Zwischenraum von $3{,}5^{mm}$ von einander getrennt; eine ruhig brennende, keinen Ruß absetzende Talgkerze wurde so zwischen die Polspitzen gehalten, daß sich diese in $^7/_8$ der ursprünglichen Höhe der Flammen befanden. Fig. 264 *a* zeigt für diesen Fall die äquatoriale Ansicht, Fig. 264 *b* den axialen Durchschnitt der Flamme.

Fig. 264.

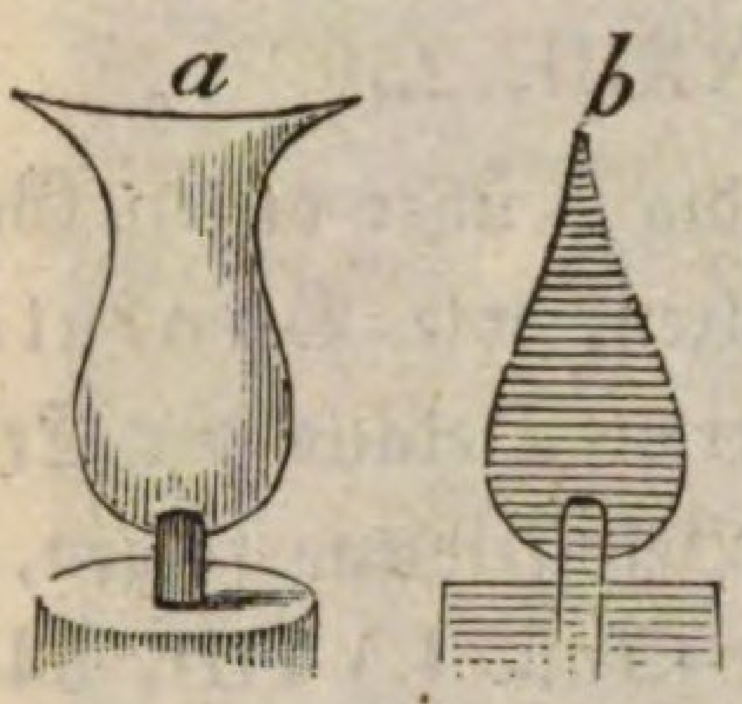
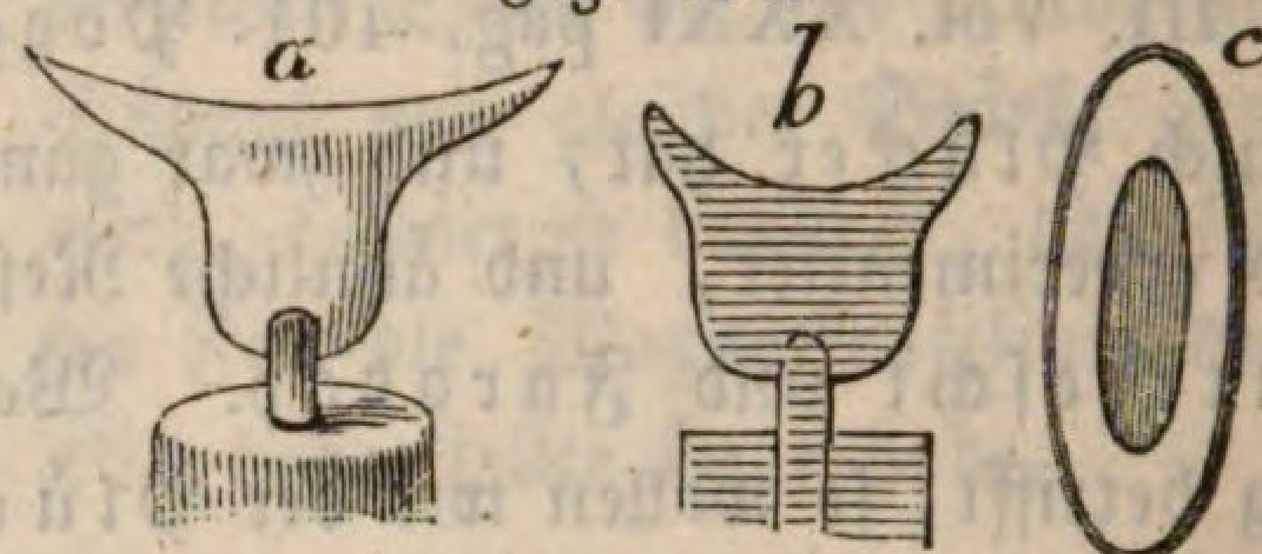


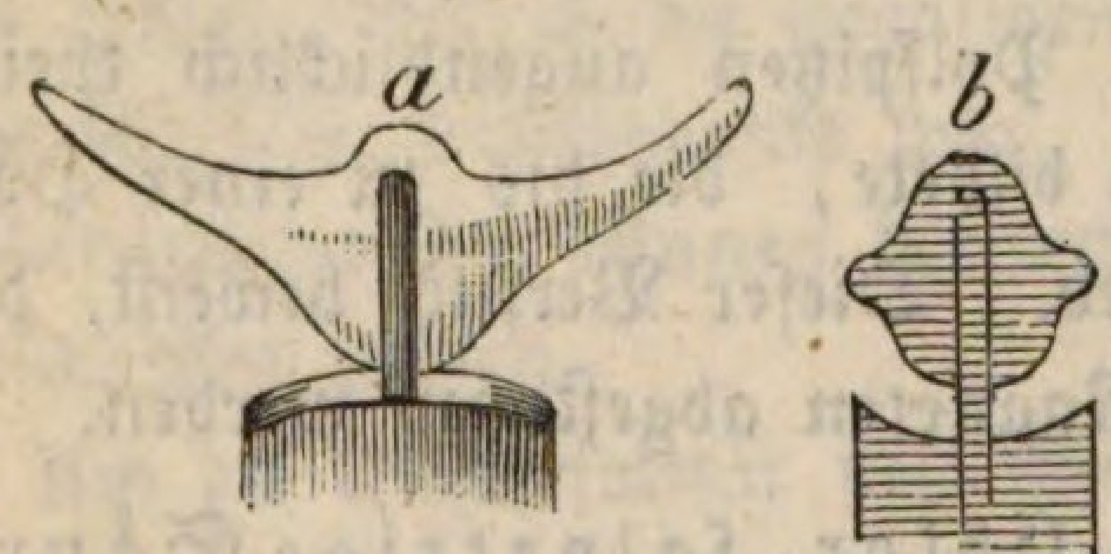
Fig. 265.



Als die Flamme gehoben wurde, so daß sich die Polspitzen in der Hälfte ihrer ursprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Gestalt Fig. 265 *a* an, Fig. 265 *b* stellt den entsprechenden axialen Durchschnitt dar. Fig. 265 *c* ist eine Ansicht der Flamme von oben.

Endlich wurde die Talgkerze so weit gehoben, daß sich die beiden Polspitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden und die Flamme, durch die eisernen Polspitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geschlossen wurde, erhielt sie nicht allein ihr früheres Licht wieder, sondern sie brannte noch stärker, indem sie heruntergedrückt wurde und in der Aequatorialansicht die Form Fig. 266 *a* annahm. Ein senkrechter axialer Durchschnitt ist in Fig. 266 *b* dargestellt.

Fig. 266.



Bei diesen Versuchen mit der Talgkerze brannte dieselbe, ohne Ruß abzusetzen. Ein stark rußendes Talglicht bietet ganz andere Erscheinungen dar. Wenn sich insbesondere die beiden Polspitzen in $^3/_4$ der Höhe der ursprünglichen Flamme befanden, so ergab sich beim Schließen der Kette die in Fig. 267 (s. gegenüberstehende Seite) dargestellte Aequatorialansicht. Der aufsteigende graue Qualm breitete sich bei einer Dicke von 7^{mm} in der Aequa-

torialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts scharf von einer Parabel begränzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwischen die beiden Polspitzen fällt.

Fig. 267.



Aehnliches zeigte eine rußende Terpentinölflamme, der von einem brennenden Stück Zunder aufsteigende Rauch u. s. w.

Alle die verschiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluß von Magnetpolen annehmen, erklären sich aus der Annahme, daß die Masse der Flammen durch die Magnetpole abgestoßen wird und daß diese Abstoßung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird also durch diese Versuche bewiesen, daß die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und zwar, daß sie in höherem Grade diamagnetisch sind als die umgebende Luft.

In der Flamme einer Talg-, Stearin- oder Wachskerze findet sich glühende fein zertheilte Kohle, in der Phosphorflamme findet sich glühende feste Phosphorsäure vor, und diesen Körpern könnte man die beobachtete Abstoßung der entsprechenden Flammen zuschreiben; allein auch die Flammen des Wasserstoffgases, des Alkohols, des Schwefels zeigen dieselben Erscheinungen, und in diesen Flammen befinden sich doch keine festen glühenden Körper, sondern nur Wasserdampf, Kohlensäure und schwefelige Säure, welche im glühenden Zustande sämmtlich stärker diamagnetisch sind als Luft.

Diamagnetismus der Gase. Es ließ sich wohl erwarten, daß die 271
hohe Temperatur der in der Flamme glühenden Gase einen wesentlichen Antheil an dem starken Diamagnetismus hat, den sie zeigen; um diesen Einfluß der Temperatur ganz rein zu haben, stellte Faraday folgenden Versuch an, welcher sich mit den sogleich zu besprechenden weiteren Versuchen über den Diamagnetismus der Gase in dem bereits citirten Aufsatze beschrieben findet. (Pogg. Ann. LXXIII, 256.)

Eine kleine Spirale von dünnem Platindraht war mit ihren beiden Enden an zwei dickere Kupferdrähte befestigt, so daß sie durch den Strom einer Volta'schen Batterie in's Glühen versetzt werden konnte. Auf diese Weise war die brennende Kerze durch eine glühende Spirale ersetzt, welche einen stark erhitzten und zugleich chemisch unveränderten Luftstrom gab. Als der Schraubendraht gerade unter die axiale Linie gestellt ward, stieg die erhitzte Luft frei zwischen den Polen empor, wie sich dies beim Dar-

überhalten eines Thermometers oder eines Fingers oder eines Papiers, welches verkohlt wurde, ergab. Sobald aber der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, theilte sich die heiße Luft in zwei Ströme, die an den beiden Seiten der axialen Linie emporstiegen; allein zwischen den Polen bildete sich ein niedersinkender Strom, der hinabging zum Schraubendraht und zur heißen Luft, welche seitwärts aufstieg.

Die erhitzte Luft ist also stärker diamagnetisch, als Luft von gewöhnlicher Temperatur. Ebenso zeigte sich Luft von gewöhnlicher Temperatur diamagnetisch gegen solche, welche stärker erkaltet war.

Um das Verhalten verschiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, schlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand sich in einer Woulf'schen Flasche. In die eine Oeffnung derselben wurde eine fast bis zum Boden der Flasche hinabragende Röhre befestigt und durch diese wurde das Wasser eingegossen, welches das Gas austreiben sollte. Der Zufluß des Wassers war so regulirt, daß in der Minute 12 Cubikzoll Wasser hier ein-, also ebenso viel Gas durch die andere Oeffnung ausströmte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausströmen sollte. Die Ausströmungsöffnung hatte ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmesser; sie befand sich unter den Polspitzen, wenn man mit einem leichteren, über den Polspitzen, wenn man mit einem schwereren Gas experimentirte, so daß ein in der Mitte zwischen den Polspitzen aufsteigender oder niedersinkender Gasstrom hervorgebracht wurde.

In der Ausströmungsröhre befand sich ein Stück Fließpapier, welches mit concentrirter Salzsäure befeuchtet war, so daß das ausströmende Gas immer etwas Salzsäure mit sich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufsteigende oder niedersinkende Gassäule nimmt, verfuhr Faraday in folgender Weise: Ueber oder unter dem Mittelpunkt der Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, war eine an beiden Enden offene Glasröhre, so lang und so dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derselben, so also, daß die Ebene, welche die Axen dieser drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial steht. Jede dieser Röhren enthielt ein Stück Fließpapier, welches in Ammoniakflüssigkeit getaucht war, so daß Nebel entstehen mußten, wenn das salzsäurehaltige Gas durch eine solche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, so ging es durch die mittlere Röhre; erschien es aber nach Schließung der Kette in den Seitenröhren, so war das ein Zeichen, daß es diamagnetisch gegen Luft ist.

In dieser Weise geprüft, zeigten sich diamagnetisch: Stickstoff (schwach), Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Am-

moniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Sauerstoff zeigte sich weniger diamagnetisch als Luft. — Stickstoffoxyd und salpetrigsaures Gas gaben keine entscheidenden Resultate.

Faraday änderte nun den Versuch dahin ab, daß er den Versuchsraum gegen die äußere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, so daß die zu untersuchenden Gase nicht in Luft, sondern in Kohlensäure, Steinkohlengas oder Wasserstoffgas ausströmten.

In Kohlensäure ging Sauerstoff zur Magnetaxe; Stickstoff, Wasserstoff, Steinkohlengas, ölbildendes Gas, Salzsäure und Ammoniak waren in Kohlensäure diamagnetisch.

In Steinkohlengas waren magnetisch: Luft, Sauerstoff, Stickstoff; diamagnetisch waren: ölbildendes Gas, Kohlenoxyd u. s. w.

In Wasserstoffgas waren magnetisch: Luft, Sauerstoff; diamagnetisch waren Stickstoff, Ammoniak u. s. w.

Am Schlusse seiner Abhandlung Seite 579 beschreibt Plücker noch folgenden interessanten Versuch: Zwei Halbanker wurden so auf die Pole gelegt, daß sie mit ihren halbkreisförmigen Enden in kürzester Entfernung noch 5^{mm} von einander abstanden; zwischen ihnen befand sich ein Gefäß von dünnem Messingblech, welches möglichst genau, und nur noch einen kleinen Spielraum übriglassend, zwischen die beiden Anker paßt. Das Gefäß war 41^{mm} hoch, nach äquatorialer Richtung 93^{mm} lang, nach axialer Richtung in der Mitte 4,5, an den Enden 40^{mm} breit. Es war überall luftdicht verschlossen und nur an einer Seite war eine Glasröhre von 1^{mm} Durchmesser eingelassen. Nachdem das Gefäß die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hatte, wurde es durch Berührung mit der Hand ein wenig erwärmt, und dann, um die innere Luft abzusperren, ein Alkoholtropfen vor die Oeffnung der Röhre gebracht. Beim Fortnehmen der Hand trat der Tropfen in die Röhre und kam in der Nähe des Gefäßes zur Ruhe. Dann wurde der Magnetismus durch Schließen einer Kette von 12 Grove'schen Elementen hervorgerufen und in demselben Momente der Alkoholtropfen 3^{mm} nach der Oeffnung der Röhre hin fortgestoßen, und wenn dann, nachdem er nach einiger Zeit zur Ruhe gekommen war, die Kette wieder geöffnet wurde, kehrte er genau zur ursprünglichen Lage zurück. Die Luft war also in Folge diamagnetischer Abstoßung durch den Elektromagneten ausgedehnt worden und hatte sich, mit dem Verschwinden des Magnetismus, wieder auf das ursprüngliche Volumen zurückgezogen.

Einwirkung von Magnetpolen auf Flüssigkeiten. Wenn Massen von feinen Eisenfeilspähnen über die Pole eines Magneten gebracht 272

werden, so bilden sie, weil sie von den Polen angezogen werden, Anhäufungen, die nach der Form und Entfernung der Pole verschiedene Configurationen annehmen. In entsprechender Weise müssen auch magnetische Flüssigkeiten afficirt werden. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, brachte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 565) verschiedene Flüssigkeiten in einem Uhrglase über die Pole des Elektomagneten und die beobachteten Erscheinungen entsprachen ganz seinen Erwartungen.

Zuerst experimentirte er mit einer ziemlich concentrirten Auflösung von Eisenchlorid; in einem Uhrglas, in welchem sie ursprünglich einen Kreis von 25^{mm} Durchmesser bildete, wurde die Lösung auf den Zwischenraum zwischen den beiden auf die Pole aufgelegten Halbankern gebracht. Diese Halbanker waren an den einander zugekehrten Seiten etwas abgerundet; in den Figuren 268 und 269 bezeichnen die mit größeren Radien beschriebenen beiden Kreisbogen die oberen gekrümmten Kanten der Halbanker.

Fig. 268.

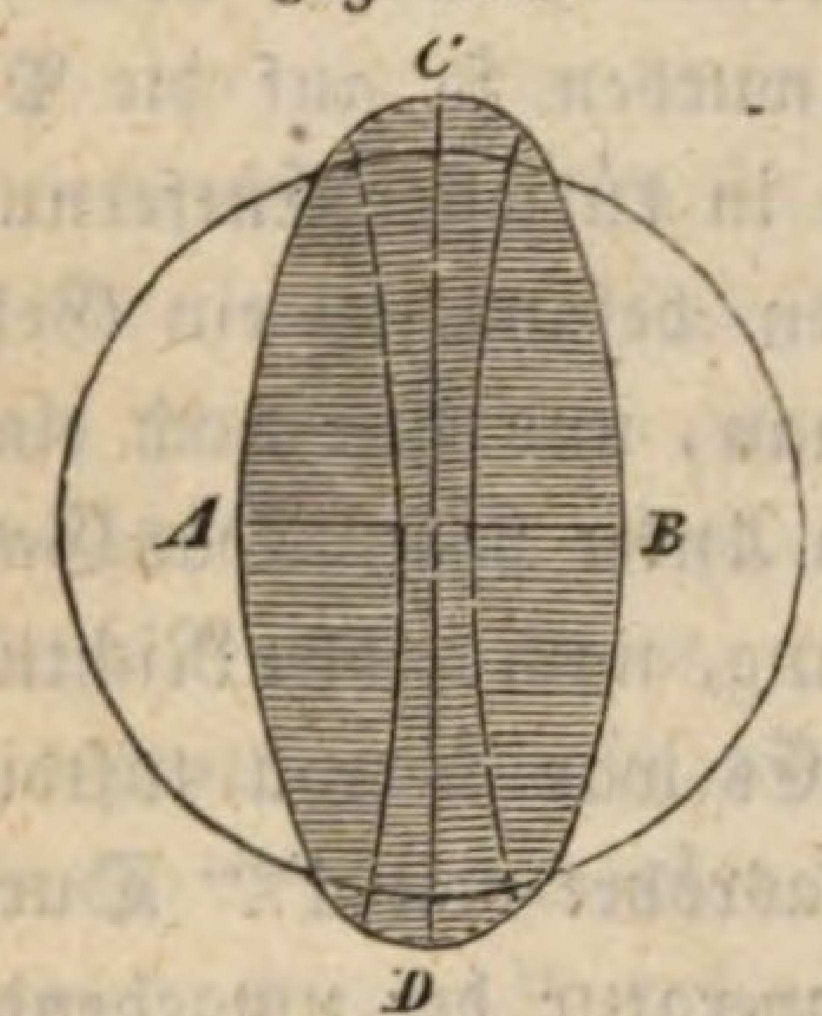


Fig. 269.

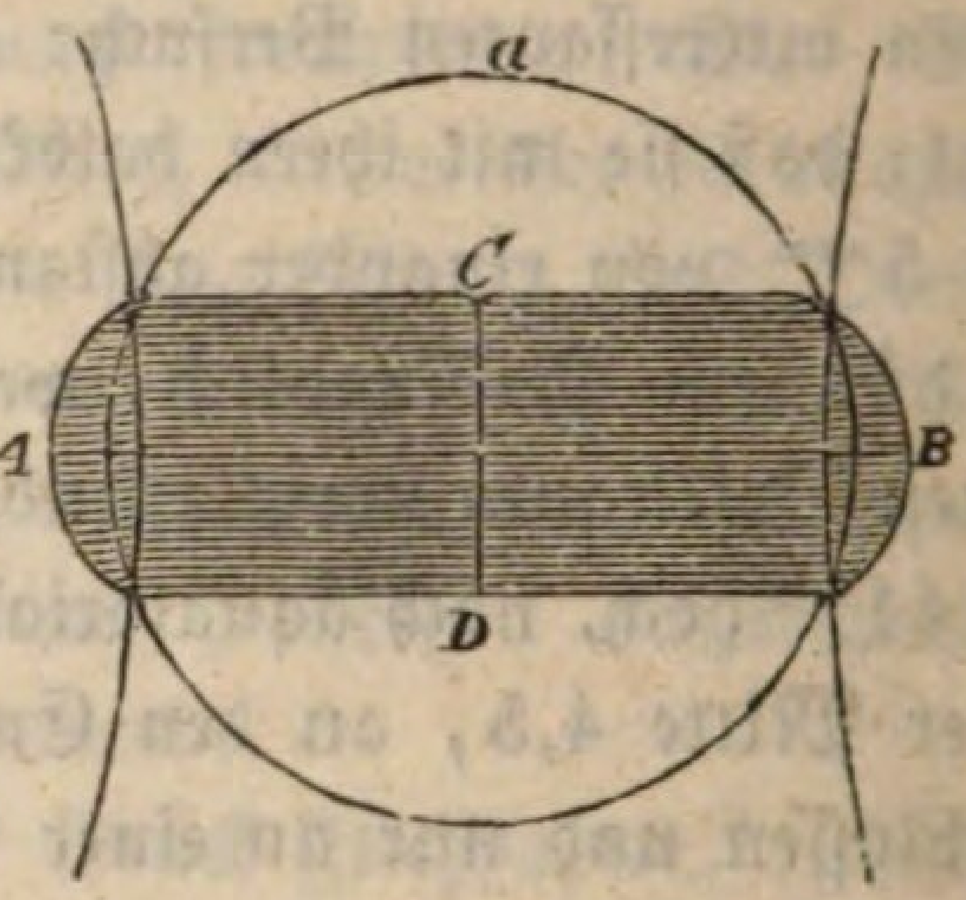


Fig. 270.

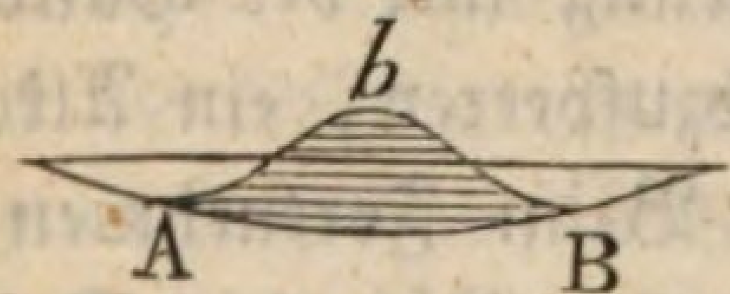
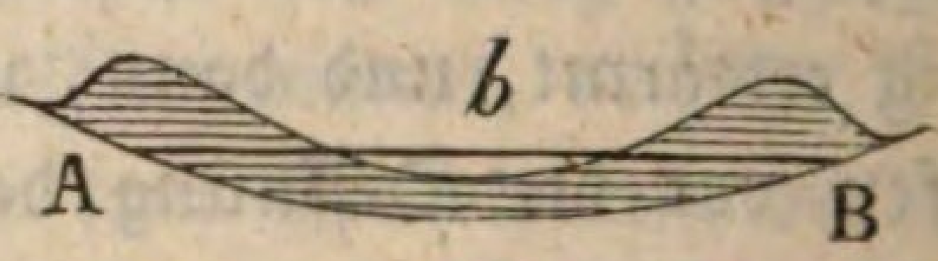


Fig. 271.



Als die Halbanker bis auf 2,5^{mm} genähert waren, nahm die ursprünglich kreisförmige Masse der Lösung nach Schließung der Kette die elliptische Gestalt *ABCD* Fig. 268 an; die Axen dieser Ellipse betrugen 30,5 und 13 Millimeter. Gleichzeitig ging auch die horizontale Oberfläche verloren; sie bildet in der äquatorialen Ebene einen Bergrücken, dessen axialen Querschnitt man in Fig. 270 sieht.

Als die Halbanker bis auf 23 Millimeter entfernt wurden, nahm die Flüssigkeit die Gestalt Fig. 269 an; Fig. 271 zeigt den entsprechenden axialen Durchschnitt.

Plücker beschreibt die Erscheinung auch noch für einige andere Entfernungen der Halbanker; ich habe hier nur die charakteristischsten ausgewählt.

Diese Erscheinungen erklären sich ganz einfach aus dem Umstande, daß die magnetische Flüssigkeit sich an den Stellen anzuhäufen strebt, wo die

magnetische Wirkung am kräftigsten auftritt, also über den Kanten der Halbaxen.

Eine Lösung von Eisenchlorür zeigte sich schwächer magnetisch, noch weniger eine solche von Eisenvitriol. Eine Lösung von salpetersaurem Nickeloxyd ist stärker magnetisch als die Lösung des Eisenvitriols.

Diese Versuche wurden mit dem großen Elektromagneten angestellt, welcher durch den Strom von zehn Grove'schen Elementen erregt war.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetische Flüssigkeiten demselben Verfahren. Als die Anker bis auf 2,5^{mm} genähert waren, dehnte sich die Flüssigkeit nach der axialen Richtung aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich statt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetischen Flüssigkeiten zeigt sich ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch sind die Wirkungen schwächer als bei magnetischen Flüssigkeiten.

Waren die Halbanker 2 bis 4 Millimeter weit von einander entfernt, so zeigte sich keine einzige der von Plücker untersuchten Flüssigkeiten indifferent. Als diamagnetisch wurden auf diese Weise unter anderen erkannt: Wasser, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Ammoniakflüssigkeit, Schwefelkohlenstoff, fette und ätherische Oele, Lösungen von salpetersaurem Wismuth, Kochsalz, Salpeter, Glaubersalz; ferner Milch, Blut und namentlich Lösungen von gelbem und rothem Blutlaugensalz.

Stärkere Wirkung als bei Anwendung eines Uhrglases erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüssigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3^{mm} von einander entfernten Halbanker legt.

Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer 273
Kräfte. Die Größe der Anziehung, welche magnetische Flüssigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weise gemessen (Pogg. Ann. LXXIV, 321): Zur Aufnahme der Flüssigkeit dient ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande; es wird bis über diesen Rand mit der Flüssigkeit gefüllt und dann dieselbe mit einem als Deckel dienenden matten Glase abgestrichen, so daß man sicher ist, daß die eingeschlossene Flüssigkeit bei gleicher Form stets dasselbe Volumen einnimmt.

Um die Stärke der Anziehung zu bestimmen, wird das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing gebracht, der an drei etwa 200^{mm} langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein ist, um 1 Milligramm anzugeben, und an der, außer der Axe des Wagbalkens, kein Eisen sich befindet. Um die

Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, sondern es werden die beiden Halbanker, welche auch zu den in den vorigen Nummern beschriebenen Versuchen dienten, so auf die Pole gelegt, daß die abgerundeten Enden derselben noch 6^{mm} von einander abstanden: die Wage wurde genau so adjustirt, daß das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt ist, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit seinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureißen, wird auf die Wagschale der anderen Seite feines Bleischrot und dann feiner Sand aufgelegt. Das Gewicht des zugelegten Schrotes oder Sandes ist das Maaß für die jedesmalige magnetische Kraft.

Das leere Uhrglas selbst nebst dem Messingringe zeigte sich magnetisch; als der Elektromagnet durch 6 Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0,4 Gramm angezogen.

Als das Uhrglas mit Wasser gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch 0,28 Gramm. Die diamagnetische Abstoßung des im Uhrglase eingeschlossenen Wassers beträgt also 0,12 Gramm.

Nun bereitete Plücker vier Lösungen von Eisenchlorür, deren Salzgehalt sich vertheilt wie

8 : 4 : 2 : 1.

Die zum Abziehen nöthigen Gewichte waren für

das Uhrglas mit der Lösung	Nro. 1 . . .	3,94 Gramm
» » » » »	Nro. 2 . . .	2,14 »
» » » » »	Nro. 3 . . .	1,23 »
» » » » »	Nro. 4 . . .	0,72 »

Diese Zahlen geben aber nicht rein die Anziehung des Eisenchlorürs; um diese zu erhalten, muß man die Anziehung des Glases selbst und die diamagnetische Abstoßung des Wassers in Rechnung bringen. Betrachten wir die Lösung Nro 1 als die ursprüngliche magnetische Substanz, so kommen in den folgenden Lösungen $^1/_2$, $^3/_4$, $^7/_8$ des ganzen Volums an Wasser hinzu, und die entsprechenden diamagnetischen Abstoßungen sind, bei der gleichmäßigen Vertheilung des Wassers durch den ganzen Raum, hiernach die folgenden

0,06 Gramm, 0,09 Gramm, 0,105 Gramm.

Somit ergeben sich die folgenden Zahlen für die Anziehung der ursprünglichen Eisenchlorürlösung

in Nro. 1	$3,94^{gr.}$	— $0,40^{gr.}$	. . . . . .	= $3,54^{gr.}$
» Nro. 2	2,14	— 0,40	+ $0,06^{gr.}$ . .	= 1,80
» Nro. 3	1,23	— 0,40	+ 0,09 . .	= 0,920
» Nro. 4	0,72	— 0,40	+ 0,105 . .	= 0,425.

Die Zahlen der letzten Columne verhalten sich in der That sehr nahe wie 8 : 4 : 2 : 1, diese Versuche zeigen also, daß die Anziehung der Eisenchlorürlösung dem Gehalte an Eisenchlorür proportional ist.

Ganz ähnliche Resultate wurden mit fein zertheiltem Eisen erhalten, welches gleichmäßig in frischem Schweineschmalz vertheilt war. Es wurden fünf verschiedene Gemenge gemacht, indem

1,6$^{gr.}$ 0,8$^{gr.}$ 0,4$^{gr.}$ 0,2$^{gr.}$ 0,1$^{gr.}$

des fein zertheilten Eisens mit 25 Gramm Schweineschmalz in einem Mörser zu einer für das Auge homogenen Masse verrieben wurden.

Das Uhrglas mit reinem Schweineschmalz gefüllt, wurde mit einer Kraft von 0,25 Grammen angezogen. Dann wurde das Uhrglas nach einander mit jedem der fünf Gemenge angefüllt, das Gewicht des Gemenges im Uhrglase (woraus die Menge des in demselben befindlichen Eisens sich berechnen läßt) und endlich das zum Abziehen des Uhrglases nöthige Gewicht bestimmt. Es ergaben sich hierbei die folgenden Resultate:

	Gewicht des Gemenges.	Eisenmenge.	Anziehung.
Nro. 1	10,70 Gramm	0,6848 Gramm	259,95 Gramm
Nro. 2	10,65 »	0,3408 »	133,60 »
Nro. 3	10,15 »	0,1624 »	64,73 »
Nro. 4	10,35 »	0,0828 »	34,65 »
Nro. 5	10,15 »	0,0406 »	15,95 »

Die Zahlen der letzten Verticalreihe geben die Anziehung des Eisens in den verschiedenen Schmalzgemengen; es sind die Gewichte, welche zum Abreißen des Uhrglases erforderlich sind, vermindert um 0,25 Gramm, wobei, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, angenommen worden ist, daß die Menge des diamagnetischen Schmalzes überall dieselbe geblieben sey.

Wir sehen, daß auch hier die Anziehung sehr nahe der Menge des metallischen Eisens proportional ist, welche in dem Innern des Uhrglases gleichförmig verbreitet ist.

Nun ging Plücker zur Vergleichung des Magnetismus verschiedener Substanzen über; sie wurden theils in Lösung, theils in Pulverform in das Uhrglas gebracht und dann auf die angegebene Weise mit ihnen verfahren. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

	A	B	C	D
Salpeters. Eisenoxyd. — Lösung	14,55 gr.	1,212gr.	2,502gr.	2,064gr.
Salzsaures Eisenoxyd »	16,475	2,213	8,240	3,723
Schwefels. Eisenoxyd »	18,25	2,243	5,335	2,379
Salzsaures Eisenoxydul »	16,535	2,825	7,095	2,501
Schwefels. Eisenoxydul »	—	0,445	1,350	3,034
Schmalzmischung 50 : 1 »	8,225	0,161	82,370	510,740
Eisenoxyd I. gepulvert	12,188	8,532	31,210	3,658
Eisenoxyd II. »	14,825	10,377	21,690	2,090
Rotheisenstein »	28,55	19,985	19,596	0,981
Eisenglanz »	33,72	23,604	91,755	3,887
Eisenoxydhydrat »	16,50	8,750	13,238	1,513
Künstlicher Blutstein »	12,45	7,708	9,618	1,235
Schwefelarsen »	25,22	11,770	19,417	1,650
Nickeloxydul »	14,65	11,535	2,630	0,228
Nickeloxydulhydrat »	11,125	6,574	6,055	0,921
Schmalzmischung 25 : 1 . . .	10,850	—	210,866	—
1 Thl. Magneteisenstein 25 Thle. Schmalz	11,00	—	86,135	—
Manganoxydhydrat, gepulvert	23,901	—	8,470	—
Manganoxyd »	22,869	—	18,470	—

Die unter dem Strich stehenden Zahlen gehören einer anderen Versuchsreihe an.

Die Columne unter *A* enthält das Gewicht der untersuchten Substanz, unter *B* findet sich das Gewicht des in der untersuchten Masse enthaltenen Eisens oder Nickels; die mit *C* überschriebene Columne enthält die Größe der beobachteten magnetischen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter *B* in die unter *C* stehenden, so erhält man die letzte Verticalreihe, welche also angiebt, wie groß die Anziehung gewesen seyn würde, wenn bei gleichmäßiger Vertheilung im Innern des Uhrglases der Eisen- (oder Nickel-) Gehalt der Substanz gerade 1 Gramm betragen hätte.

Wir sehen daraus, daß bei gleichem Eisengehalt die magnetische Anziehung verschiedener Eisenverbindungen sehr verschieden ist, daß die magnetischen Eigenschaften des Eisens in den meisten seiner Verbindungen außerordentlich geschwächt erscheinen. Bezeichnen wir die magnetische Anziehung

des metallischen Eisens mit 100,000, so ist die Anziehung, welche unter gleichen Umständen die gleiche Menge Eisen in verschiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eisen metallisch	100000
» im Oxyd I.	714
» » Oxyd II.	409
» » Rotheisenstein	191
» » Eisenglanz	761
» » Eisenoxydhydrat	296
» » Blutstein	240
» » Schwefelkies	321
» in der Lösung von salpeters. Eisenoxyd	410
» » » » » salzsaurem »	737
» » » » » schwefels. »	474
» » » » » salzsaurem Eisenoxydul	490
» » » » » schwefels. »	594

Die Ungleichheit der Zahlen, welche für die beiden Versuche mit Eisenoxyd erhalten wurden, rührt wohl daher, daß sie nicht ganz rein waren, daß namentlich das Oxyd Nro. 1 noch Oxydul enthielt.

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, wie sehr die magnetischen Eigenschaften des Eisens abnehmen, wenn dieses Metall mit anderen Körpern chemische Verbindungen eingeht.

Eine einzige Eisenverbindung zeigt einen stärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eisens mit 100,000, so ist der eines gleichen Gewichtes Magneteisenstein 40,227. Es ist dies der Magneteisenstein, eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der starke Magnetismus dieser Verbindung rührt höchst wahrscheinlich daher, daß das Eisenoxydul in sehr hohem Grade magnetisch ist. Das Eisenoxydul selbst konnte Plücker bisher noch nicht untersuchen.

Eine auffallende Erscheinung ist es, daß das Nickeloxydulhydrat viel stärker magnetisch ist als das Nickeloxydul selbst.

In den Salzlösungen scheint durch das Hinzutreten der Säuren zu dem Oxyde der ursprüngliche Magnetismus des Oxyds nicht weiter geschwächt zu werden.

Die Versuche, welche Plücker anstellte, um die Stärke des Diamagnetismus verschiedener Substanzen zu vergleichen, gaben folgende Resultate:

Anziehung	
des leeren Uhrglases mit Deckel und Messingring	0,49gr.
des Uhrglases gefüllt mit destillirtem Wasser . .	0,35
mit Alkohol	0,36
» Schwefeläther	0,36
» Lösung von gelbem Blutlaugensalz	0,37
» » » rothem »	0,72
» Phosphor	0,24
» Schwefelblüthe	0,39
» Schwefelsäure	0,40
» geschlagenem Ochsenblut	0,32
» Quecksilber	0,05
» Schwefelkohlenstoff	0,31
» Salzsäure	0,33
» Salpetersäure	0,39
» Terpentinöl	0,34

Daraus ergiebt sich:

	Diamagnetische Abstoßung.	Diamagnetismus bei gleichem Volum.	Diamagnetismus bei gleichem Gewicht.
Wasser	0,14gr.	100	100
Alkohol (0,813)	0,13	93	114
Schwefeläther	0,13	93	127
Schwefelkohlenstoff	0,18	129	102
Schwefelsäure	0,09	64	34
Salzsäure	0,16	114	102
Salpetersäure	0,10	71	48
Ochsenblut.	0,17	122,5	—
Gefällte Lösung von gelb. Blutlaugensalz	0,12	86	70
Wismuthoxyd, gepulvert . . .	0,06	—	35
Schwefelblüthe	0,10	—	71
Terpentinöl	0,15	107	123
Quecksilber	0,44	314	23
Phosphor	0,25	172	100

Das gelbe Blutlaugensalz zeigte sich auch bei diesen Versuchen diamagnetisch, das rothe dagegen war, den früheren Versuchen entgegen, schwach magnetisch.

Endlich stellte Plücker nach derselben Methode auch Versuche an, um den Einfluß der Temperatur auf die Stärke des Magnetismus und Diamagnetismus zu ermitteln.

Das Uhrglas wurde durch eine halbkugelförmige Schale von Messingblech ersetzt, dieselbe zum Theil mit Sand gefüllt, ein kleines Stück Eisenblech horizontal auf denselben gelegt und dann noch eine 6 bis 8 Millimeter hohe Schicht Sand aufgeschüttet. — Die Schale mit ihrem Inhalte wurde über einem Kohlenfeuer erhitzt und dann das zum Abreißen nöthige Gewicht bestimmt; es betrug 153,7 Gramm. Während des Erkaltens nahm das zum Abreißen nöthige Gewicht allmälig zu; nach 25 Minuten betrug es 166,75 Gramm.

In ähnlicher Weise wurde Eisenoxyd in einer Porcellanschale untersucht. Während der Erkaltung von 300° auf 30° C. nahm die zum Abreißen nöthige Kraft von 52,01 Gramm bis 69,61 Gramm zu.

Auch Nickeloxyd ist bei höherer Temperatur schwächer magnetisch als bei niedriger; doch ist der Wachsthum des Magnetismus nicht der Temperaturabnahme proportional. Während die Temperatur von ungefähr 300° C. ausgehend sank, nahm der Magnetismus anfangs nicht merklich zu, erst bei größerer Temperaturerniedrigung begann eine raschere Zunahme des Magnetismus.

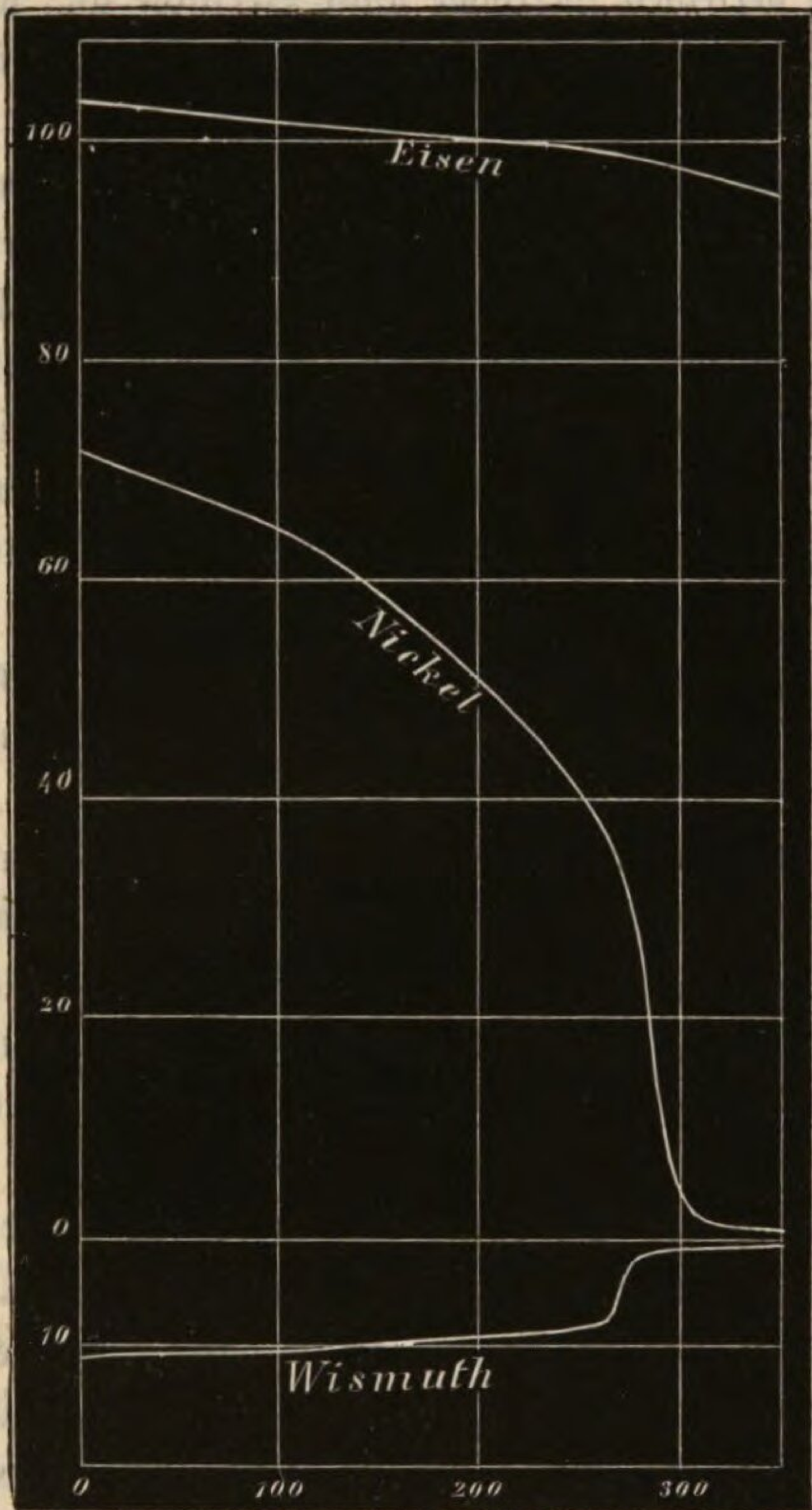
In ähnlicher Weise wurde auch der Einfluß der Temperatur auf die Stärke des Diamagnetismus geprüft. In derselben Messingschale, welche zu den Versuchen mit dem Messingblech gedient hatte, wurden 116 Gramm Wismuth geschmolzen und dasselbe über die Temperatur des Schmelzpunktes hinaus erwärmt. Bei dem ersten Versuche ergab sich die Stärke des Diamagnetismus gleich 0,28 Gramm; mit sinkender Temperatur nahm die Stärke des Diamagnetismus zu, und nach völliger Erkaltung war sie auf 1,67 Gramm gestiegen. Hiernach steht also fest, daß der Diamagnetismus des Wismuths mit steigender Temperatur abnimmt.

Versuche mit geschmolzenem Stearin und geschmolzenem Schwefel, deren Diamagnetismus gleichfalls während des Erkaltens bestimmt wurde, gaben das Resultat, daß der Diamagnetismus dieser Körper innerhalb der hier stattfindenden Temperaturgrenzen keine merklichen Veränderungen erleidet.

Auch beim Quecksilber zeigte sich keine merkliche Veränderung in der Stärke des Diamagnetismus, während derselbe von 121° C. bis auf 33° C. erkaltete.

Später hat Plücker noch eine genauere Versuchsreihe über diesen Gegenstand angestellt (Pogg. Ann. LXXV, 177). Zur Beobachtung der Temperatur wurde ein Thermometer in das Schälchen gebracht. In Fig. 272 sind die Resultate der Versuche für Eisen, Nickel und Wismuth graphisch dargestellt. — Die Abscissen sind der Temperatur, die Ordinaten sind der durch Gramme gemessenen Anziehung proportional, die negativen Ordinaten entsprechen der diamagnetischen Abstoßung. — Das Eisen wurde in Form eines dünnen Blechs in Sand dem Versuche ausgesetzt. Das Nickel war pulverförmig. Um die Kurve für Wismuth deutlich zu machen, sind die Ordinaten für dies Metall in 10fachem Maaßstab aufgetragen als für die anderen Metalle. Bei 311° betrug die diamagnetische Abstoßung des Wismuths 0,055 Grm., bei 149° betrug sie 0,995 Gramm.

Fig. 272.



274 **Veränderlichkeit des Verhaltens gemischter Körper mit den Veränderungen der magnetischen Kraft.** Kaum waren Faraday's Versuche über Diamagnetismus auf dem Continent bekannt geworden, so unternahm auch Plücker eine Reihe von Experimentaluntersuchungen über diesen Gegenstand; er entdeckte alsbald höchst merkwürdige Modificationen, welche die magnetischen und diamagnetischen Erscheinungen in doppelt brechenden Krystallen erleiden, so wie die auffallende Thatsache, daß ein und derselbe Körper sich bald magnetisch, bald diamagnetisch verhalten kann, je nachdem er sich zwischen sehr genäherten oder weiter entfernten Polspitzen befindet. Die beiden ersten Aufsätze Plücker's, welche über seine diamagnetischen Arbeiten handeln, befinden sich in Pog=

gendorff's Annalen (LXXII, 315, 351). Das Wesentlichste ihres Inhaltes ist bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Bd., S. 692) mitgetheilt worden.

Das eben erwähnte Uebergehen aus dem diamagnetischen in das magnetische Verhalten, findet, wenn es nicht durch Krystallisationsverhältnisse bedingt ist, nur bei Körpern statt, welche aus diamagnetischen und magnetischen Substanzen gemacht sind.

Später zeigte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 617), daß eine Verstärkung des Magnetismus in den Polspitzen dieselbe Wirkung habe wie eine Annäherung derselben. Ein Stückchen Buchsbaumkohle, welches sich bei größerer Entfernung der Pole magnetisch, bei geringem Abstande derselben aber diamagnetisch verhielt, wurde zwischen die Polspitzen gebracht und deren Abstand so regulirt, daß das Kohlenstückchen sich entschieden axial stellte, wenn der Elektromagnet durch den Strom eines einzigen Grove'schen Elementes erregt ward. Als statt dessen zwei Elemente angewandt wurden, war es schwer zu bestimmen, ob es sich magnetisch oder diamagnetisch verhalte; bei drei Elementen stellte es sich aber entschieden äquatorial, und die diamagnetische Kraft nahm bei noch größerer Stromstärke immer mehr zu.

Ein zweiter Versuch mit einem anderen Kohlenstückchen gab ein gleiches Resultat.

Durch die Zunahme der Kraft der Magnetpole wird also bei unveränderter Entfernung der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt.

Diese Versuche zeigen, daß, wenn ein Körper bei wachsender Entfernung der Pole aus der äquatorialen in die axiale Lage übergeht, die Entfernung nicht als solche, sondern nur insofern in Betracht kommt, als mit der Entfernung von den Polen die Kraft des Elektromagneten abnimmt, daß bei wachsender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetismus in rascherem Verhältniß zunimmt als der Magnetismus (Pogg. Ann. LXXIV, 363).

Es geht daraus hervor, daß man durch Mischung zweier Substanzen, von denen die eine magnetisch, die andere diamagnetisch ist, keinen Körper darstellen kann, der sich absolut indifferent gegen den Magneten verhält, weil, wenn für eine gewisse Magnetkraft beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten, der Diamagnetismus bei wachsender, der Magnetismus bei abnehmender Kraft der Magnetpole zum Uebergewicht kommen wird.

Daß bei wachsender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetismus in rascherem Verhältniß zunimmt als der Magnetismus, hat Plücker auch durch directe Messung dargethan. Als der Reihe nach der Elektro-

magnet durch 2, durch 3 und durch 10 Tröge erregt wurde, ergab sich die Anziehung der bereits oben besprochenen Messingschale gleich

0,69$^{gr.}$ — 1,13$^{gr.}$ — 2,15$^{gr.}$

Es wurde nun ein 115$^{gr.}$ schweres Stück Wismuth in die Schale gelegt und nun war die Anziehung

0,53$^{gr.}$ — 0,71$^{gr.}$ — 0,48$^{gr.}$,

wonach sich für den Diamagnetismus des Wismuths

0,14$^{gr.}$ — 0,42$^{gr.}$ — 1,67$^{gr.}$

ergiebt; während also durch Steigerung der Kraft der Magnetpole der Magnetismus der Schale in Verhältniß von 1 zu 3 wuchs, ist der Diamagnetismus des Wismuths um mehr als zehnmal stärker geworden.

Sehr schön wird der obige Satz auch durch folgende Versuchsreihen Plücker's bewiesen (Pogg. Ann. LXXV, 417): Das schon früher besprochene Uhrglas, welches, wie wir wissen, mit seinem Messingringe schwach magnetisch ist, wurde in gewohnter Weise über die genäherten Pole an den einen Arm der Wage angehängt und ein abgerundetes Stück Wismuth hineingelegt. Die Wage wurde nun durch Tariren ins Gleichgewicht gebracht. — Der Wagebalken konnte nach Belieben gehoben oder gesenkt werden, so daß, ohne ihn aus seiner Gleichgewichtslage herauszubringen, die Entfernung des Uhrglases von den Polen vergrößert und verkleinert werden konnte. Es wurde nun bei verschiedener Entfernung des Uhrglases und bei verschiedener Stromstärke die Anziehung oder Abstoßung des Uhrglases sammt seinem Inhalt von Wismuth in der Weise beobachtet, daß man ermittelte, um wie viel Millimeter dasselbe durch die Einwirkung der Magnetpole aus seiner Gleichgewichtslage heraus gehoben oder gesenkt werde; es ergaben sich dabei folgende Resultate:

I. Bei Berührung der Anker durch das Uhrglas.

Anzahl der Tröge:	8	Abstoßung:	5,0^{mm}
» » »	2	»	0,5
» » »	1	»	keine merkliche Wirkung.

II. Das Uhrglas 1,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abstoßung:	3,5^{mm}
» » »	4	»	2,25
» » »	3	»	1,5
» » »	2	»	0,5
» » »	1	Anziehung:	1,0

III. Das Uhrglas 3,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abstoßung:	1,0^{mm}
» » »	4	Anziehung:	1,0
» » »	1	»	3,0

IV. Das Uhrglas 5,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	3,0^{mm}
" " "	1	"	3,25

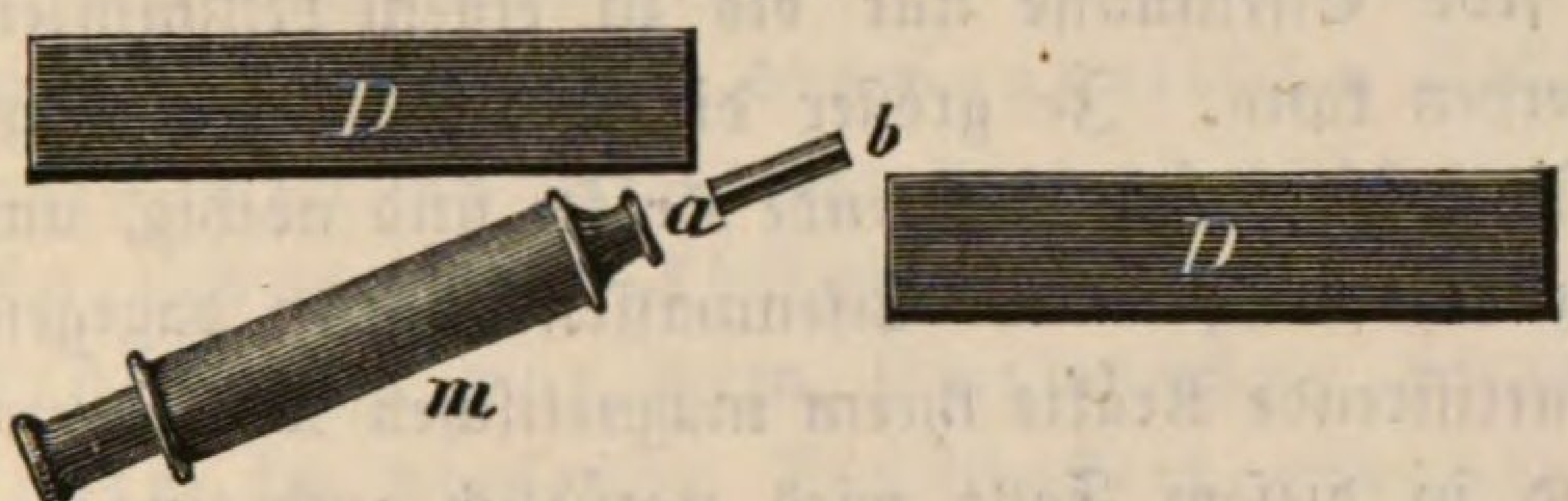
V. Das Uhrglas 8,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	5,0^{mm}
" " "	1	"	ebenso.

E. Becquerel bestreitet, daß die Zunahme des Diamagnetismus in einem anderen Verhältniß zum Wachsthum der Stromstärke stehe als die des Magnetismus; er stützt sich dabei auf folgende Versuche (Ann. de Chim. et de Phys. sér. III. tom. XXVIII, 301).

Auf die Pole seines großen Elektromagneten waren prismatische Stücke von weichem Eisen aufgelegt, deren obere Fläche ein längliches Rechteck von 3 Centimeter Breite bildet; auf diese Flächen sind zwei Stäbchen *D* von weichem Eisen aufgelegt, welche 3 Centimeter hoch und eben so breit sind, und die sich einander gegenüber stehen, wie man Fig. 273 sieht.

Fig. 273.



Zwischen den zugekehrten Enden dieser Eisenstäbchen hängt an einem feinen Silberfaden ein Stäbchen der zu untersuchenden Substanz, z. B. ein Wismuthstäbchen von 25^{mm} Länge und 3^{mm} Durchmesser. Der Silberfaden ist oben an einer Torsionsvorrichtung angebracht, durch welche das Stäbchen *ab* in die Fig. 273 bezeichnete Lage gebracht werden kann, während der Strom nicht durch die Windungen des Elektromagneten geht. In dieser Stellung kann das Stäbchen durch ein seitlich angebrachtes Mikroskop *m* beobachtet werden. Nun wird der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, das Stäbchen wird abgestoßen und man muß die Torsionsvorrichtung um eine gewisse Anzahl von Graden drehen, um das Stäbchen wieder in seine vorige Lage zurückzubringen. Die Drehung des Fadens ist nun ein Maaß für die Stärke der Abstoßung. Mit einer Wismuthstange machte Becquerel diese Messung bei verschiedenen Stromstärken, welche an einer Sinusbussole gemessen wurden. Es ergaben sich folgende Resultate, wobei zu bemerken ist, daß das Wismuthstäbchen nicht in Luft, sondern in Wasser hing.

Abstoßung des Wismuths = *m*.	Ablenkung der Sinusbussole = *i*.	$sin.\ i^2$.	$\frac{m}{sin.\ i^2}$.
312,1°	40° 2′	0,4138	754
107,35	21 52	0,1387	774
32,1	11 45	0,0415	774

Man sieht aus dieser Tabelle, daß sich die Abstoßung des Wismuths verhält wie das Quadrat der Stromstärke. Da nun bekanntlich (wenigstens bis zu gewissen Grenzen) die Anziehung eines Eisenstabes durch einen Magneten ebenfalls dem Quadrate der magnetischen Kraft der Pole proportional ist, so schließt Becquerel, daß der Magnetismus und der Diamagnetismus in gleicher Weise von der Stärke der Magnetpole abhängen, daß sie also bei wachsender Stromstärke stets in gleichem Verhältniß zunehmen müssen.

Gleiche Resultate erhielt Becquerel auch mit einem Schwefelstäbchen.

Die Zuverlässigkeit der Versuche Becquerel's ist wohl kaum in Zweifel zu ziehen, allein eben so wenig liegen Gründe vor, die Plücker'schen Resultate für unrichtig zu halten. Der scheinbare Widerspruch läßt sich wohl auf folgende Weise lösen.

Durch meine Versuche über die Gesetze des Elektromagnetismus habe ich dargethan, daß eine jede Eisenmasse nur bis zu einem bestimmten Maximum magnetisirt werden kann. Je größer die Masse des zu magnetisirenden Eisens ist, desto größere magnetisirende Kräfte sind nöthig, um diesem Maximum nahe zu kommen; kleine Eisenmassen können dagegen schon durch geringe magnetisirende Kräfte ihrem magnetischen Maximum nahe gebracht werden, und in diesem Falle wird natürlich auch eine bedeutende Verstärkung der magnetisirenden Kraft kaum eine merkliche Vermehrung des Magnetismus in den kleinen Eisenmassen zur Folge haben. — Bedenken wir nun, welche geringe Massen magnetischer Substanzen in den Körpern vertheilt sind, mit welchen Plücker experimentirte, so dürfen wir wohl annehmen, daß dieselben schon bei geringerer Stromstärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetisirt sind, daß also die Variationen der Stromstärke keinen bedeutenden Einfluß mehr auf sie ausüben können, während die ungleich größere Masse der diamagnetischen Substanzen noch viel weiter von ihrem Maximum diamagnetischer Erregung entfernt sind, weshalb denn auch der Diamagnetismus der Substanz noch mehr zu der Stromstärke proportional wachsen kann.

275 **Einfluß der Umgebung auf magnetische und diamagnetische Wirkungen.** Schon Faraday hat nachgewiesen, daß das Verhalten eines Körpers zwischen den Magnetpolen wesentlich davon abhängt, in welches Fluidum er eingetaucht ist; ein Körper, welcher sich in Luft axial stellt, kann unter Umständen in einer Lösung von Eisenvitriol die äquatoriale Stellung annehmen. Becquerel theilt in der eben besprochenen Abhandlung auch eine Reihe hierher gehöriger Versuche mit; er bestimmte nämlich mittelst der Drehwage die Abstoßung irgend eines diamagnetischen Stäbchens, wenn es in verschiedene Flüssigkeiten eingetaucht ist. Mit einem Schwefelstäbchen von 25^{mm} Länge erhielt er folgende Resultate:

Abstoßung des Schwefelstäbchens		Ablenkung der Sinusboussole.
in Luft	— 37°	. . . 39°
» Wasser	— 4	. . . 40
» Lösung von Chlormagnesium	+ 2,5	. . . 38
» conc. Lösung von Eisenchlorür	— 1844	. . . 36
» Lösung v. schwefels. Nickeloxyd	— 41	. . . 23

Die abstoßende Kraft ist durch die Drehung des Silberfadens gemessen; das Zeichen — bezeichnet Abstoßung, + dagegen bezeichnet Anziehung.

Das Gesetz der Modification, welches die magnetische Anziehung oder Abstoßung durch das Fluidum erleidet, in welches der zu prüfende Körper eingetaucht ist, wird von Plücker in folgender Weise formulirt (Pogg. Ann. LXXVII, 580):

Die Anziehung eines magnetischen Körpers, der in eine magnetische oder diamagnetische Flüssigkeit eingetaucht wird, nimmt gerade so viel ab oder zu, als die magnetische Anziehung oder Abstoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüssigkeit vor dem Entweichen betrug. Die Abstoßung eines in dieselbe Flüssigkeit eingetauchten diamagnetischen Körpers nimmt gerade um so viel zu oder ab, als die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüssigkeit betrug.

Zur Bestätigung dieses Verhaltens führt Plücker noch den folgenden Versuch an, daß ein gegen den Magneten wenig empfindliches Aräometer (z. B. ein solches, welches mit einer dünnen, zum Theil mit Quecksilber gefüllten Glaskugel gebildet ist) entschieden steigt oder sinkt, wenn es in eine Lösung von Eisenchlorid oder Eisenvitriol oberhalb oder unterhalb der beiden genäherten Pole eines starken Elektromagneten gebracht wird. Eine entgegengesetzte Wirkung tritt in diamagnetischen Flüssigkeiten ein.

Becquerel gelangt nun, auf diese Erscheinungen bauend, zu einer eigenthümlichen Theorie des Diamagnetismus. Er läßt den Diamagnetismus als solchen gar nicht mehr gelten, sondern nimmt an, daß alle Körper nur in ungleichem Maaße magnetisch sind; die Abstoßung eines Körpers durch einen Magnetpol erfolgt dann, wenn er von einem noch stärker magnetischen Mittel umgeben ist. Da nun aber ein Wismuthstäbchen selbst im Vacuum noch von den Magnetpolen abgestoßen wird, so ist er zu der kühnen Hypothese genöthigt, daß das Vacuum wenigstens noch stärker magnetisch sey als das Wismuth!!

Ich zweifle daran, daß diese Theorie viel Beifall unter den Physikern finden wird.

276 **Einfluß der Krystallisation auf die diamagnetischen Erscheinungen.** Die ersten hierher gehörigen Beobachtungen wurden von Plücker gemacht; sie sind der Hauptsache nach bereits in der 3ten Auflage meines Lehrbuchs der Physik (2ter Bd. S. 692) mitgetheilt worden; wir wollen hier nur noch die weitere Entwickelung des Gegenstandes verfolgen.

An die ersten Beobachtungen Plücker's schließen sich zunächst die Untersuchungen Faraday's über das Verhalten des krystallisirten Wismuths an (Pogg. Ann. LXXVI, 144; Phil. Magaz. 1849. Jan. pag. 75). Er hatte an Wismuthstäbchen, welche durch Gießen in Glasröhren gemacht worden waren, anomale Erscheinungen wahrgenommen, welche er dem krystallinischen Zustande derselben zuschreiben zu müssen glaubte.

Dies veranlaßte Faraday, Versuche mit gut krystallisirten Wismuthstücken anzustellen, und es ergab sich dabei, daß die Hauptspaltungsrichtung sich stets äquatorial zu stellen strebt.

Nach Rose's neueren Untersuchungen gehört das Wismuth dem hexagonalen Krystallsystem an; was man früher für einen Würfel nahm, ist ein Rhomboeder; unter den verschiedenen Spaltungsrichtungen ist eine besonders ausgezeichnet und diese steht auf der krystallographischen Hauptaxe des Rhomboeders rechtwinklig. Nach Faraday's Versuchen hat also die krystallographische Hauptaxe des Wismuthrhomboeders ein Streben, sich axial zwischen die beiden Pole des Elektromagneten zu stellen. Dieses Bestreben macht sich in der Weise geltend, daß eine Säule von krystallisirtem Wismuth, deren Hauptspaltungsfläche mit ihrer Basis zusammenfällt, sich selbst bei entschieden vorherrschenden Längendimensionen axial stellt.

Faraday nennt die Richtung des krystallisirten Wismuths, welche sich axial zu stellen strebt, die Magnekrystallaxe.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete er beim krystallisirten Antimon, Arsen u. s. w.

Plücker wiederholte diese Versuche mit gleichem Erfolge (Pogg. Ann. LXXVI, 576).

Krystalle des regulären Systems haben keine von den anderen ausgezeichnete Spaltungsrichtung, bei ihnen kann sich also auch keine Erscheinung der Art zeigen, wie wir sie oben betrachtet haben.

Plücker ließ geschmolzenes Wismuth langsam zwischen den Magnetpolen krystallisiren. Nach dem Erstarren zeigte sich, daß die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit entschieden vorherrschend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Eine Holzkohle wurde so ausgehöhlt, daß der innere Raum ungefähr 6^{mm} Durchmesser hatte und doppelt so lang war. In diese Höhlung wurde geschmolzenes Wismuth gegossen, welches ungefähr nach einer Minute erstarrte. Befand sich das Wismuth während des Erstarrens außer dem

Bereiche des Magneten, so zeigte das aus demselben gebildete Stäbchen später keine magnekrystallische Wirkung, es verhielt sich rein diamagnetisch und stellte sich äquatorial. War aber die Kohle so zwischen die Magnetpole gestellt, daß das Wismuthstäbchen während seiner Erkaltung eine axiale Stellung hatte, so stellte es sich später an einem Seidenfaden aufgehängt gleichfalls axial. Es geht daraus hervor, daß eine Wismuthmasse, welche zwischen den Magnetpolen erstarrt ist, später an einem Faden aufgehängt, zwischen den Polen wieder dieselbe Stellung einzunehmen strebt, welche es während des Erkaltens hatte.

Theoretische Ansichten über das Verhalten der Krystalle 277
zwischen Magnetpolen. Nachdem Plücker das eigenthümliche Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen entdeckt hatte, suchte er es alsbald durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen zu erklären.

In einem Briefe an Faraday formulirte Plücker das opto-magnetische Gesetz in folgender Weise: »Die optischen Axen werden durch die »Pole eines Magneten entweder abgestoßen oder angezogen, je nach »dem krystallinischen Gefüge der Krystalle. Ist der Krystall ein negativer, »so findet Abstoßung statt; ist er dagegen ein positiver, so erfolgt »Anziehung« (Phil. Mag. Vol. XXXIV, pag. 450. Pogg. Annalen LXXVII, 447).

Gegen diese Theorie sind nun Knoblauch und Tyndall aufgetreten (Pogg. Ann. LXXIX, 233. Phil. Mag. XXXVI, 178). Zunächst führen sie einige Erscheinungen an, welche mit Plücker's Ansicht unvereinbar sind.

Aus 11 parallel mit der Axe geschliffenen Kalkspathplatten wurden kreisrunde Scheiben gemacht und diese horizontal aufgehangen. Zwischen den Polen des Elektromagneten stellten sich fünf dieser Platten so, daß die optische Axe in der That die äquatoriale Lage annahm; bei den übrigen sechs Platten dagegen stellte sich, der Plücker'schen Ansicht entgegen, die optische Axe entschieden axial.

Um zu erfahren, ob die Masse dieser Krystalle magnetisch oder diamagnetisch sey, wurden sie gepulvert und aus dem nassen Pulver cylindrische Stäbchen geformt. Nachdem diese wieder getrocknet waren, zeigten sich diejenigen, welche aus den fünf ersten Krystallen gebildet waren, diamagnetisch, die sechs anderen Stäbchen dagegen stellten sich axial, sie waren also magnetisch.

Am Schlusse ihrer Abhandlung sprechen nun Knoblauch und Tyndall ihre Ansicht dahin aus, daß die von ihnen am Kalkspath beobachteten Erscheinungen sich darauf zurückführen lassen, daß die diamagnetischen

Exemplare in der Spaltungsrichtung schwächer diamagnetisch, die magnetischen in jener Richtung schwächer magnetisch sind.

Unterdessen hat jedoch Plücker selbst seine Ansicht in zwei Abhandlungen modificirt, von denen die eine als Universitätsprogramm im August 1849 erschien, während die zweite im December desselben Jahres der königl. niederländischen Societät übergeben wurde. — Auch seine Experimentaluntersuchungen hat Plücker in Gemeinschaft mit Beer fortgesetzt, und in einem Aufsatze »über die magnetischen Axen der Krystalle« (Pogg. Ann. LXXXI, 115) veröffentlicht. Der theoretische Standpunkt, welchen Plücker in dieser Abhandlung einnimmt, ist durch folgende Stelle bezeichnet:

»Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinste »Theilchen eines Krystalles polar magnetisch oder polar diamagnetisch. Aber »die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach »einer veränderlichen Richtung, die bloß nach der Lage der Pole bestimmt »wird, sondern je nach der Krystallform nach einer oder mehr als einer »festen Richtung. Solche Richtungen, die in dem Krystalle durch die Form »derselben gegeben sind, habe ich die magnetischen Axen des Krystalls »genannt.«

Krystalle des regulären Systems haben keine solche magnetische Axe.

Die optisch einaxigen Krystalle haben eine magnetische Axe, welche mit der krystallographischen Hauptaxe (also auch mit der optischen) zusammenfällt. Stellt sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen axial, so nennt Plücker den Krystall magnetisch positiv; er nennt ihn magnetisch negativ, wenn sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen äquatorial stellt.

Wenn aus einem magnetisch einaxigen Krystall ein Cylinder gebildet ist, dessen Axe mit der magnetischen Axe zusammenfällt, und wenn er dann so aufgehängt ist, daß die magnetische Axe vertical steht, also die Umdrehungsaxe bildet, so zeigt der Krystall kein Bestreben mehr, sich zu richten. — Anders bei den optisch zweiaxigen Krystallen; werden sie so aufgehängt, daß eine der drei Fresnel'schen Elasticitätsaxen die verticale Umdrehungsaxe bildet, so stellt sich der Krystall so, daß eine der beiden übrigen Elasticitätsaxen eine axiale, die andere eine äquatoriale Lage annimmt. Plücker erklärt dies durch die Annahme von zwei magnetischen Axen, welche ähnlich liegen wie die optischen Axen, und welche entweder angezogen oder abgestoßen werden, wonach dann die magnetisch zweiaxigen Krystalle ebenfalls in positive und negative zu theilen sind.

In demselben Bande von Poggendorff's Annalen, welcher den eben besprochenen Aufsatz Plücker's enthält, finden wir aber auch eine neue Arbeit von Knoblauch und Tyndall, welche den Gegenstand in ihrer Richtung weiter verfolgt haben (Pogg. Ann. LXXXI, 481).

Zunächst führen sie einige Beobachtungen an, welche der Annahme Plücker's widersprechen, welche derselbe auch noch in seinem letzten Aufsatze noch zu behaupten scheint, daß ein optisch positiver Krystall auch magnetisch positiv, ein optisch negativer auch magnetisch negativ sey. — Das gelbe Blutlaugensalz z. B. ist optisch positiv; seine optische Axe (oder wenn man es als zweiaxig betrachtet, die Mittellinie der beiden sehr nahe zusammenfallenden Axen) wird äquatorial gestellt.

Ganz eisenfreier Kalkspath ist diamagnetisch, die Richtung seiner optischen Axe wird äquatorial gestellt. — Enthält aber der Krystall etwas isomorphes kohlensaures Eisenoxydul, so stellt sich die optische Axe axial, und dies um so stärker, je bedeutender der Gehalt an magnetischer Substanz wird. Mit sehr großer Kraft stellt sich die Axe des Rhomboeders von Spatheisenstein axial, in welchem die diamagnetischen Bestandtheile gegen das kohlensaure Eisenoxydul fast ganz verschwinden. Noch weit kräftiger findet diese axiale Einstellung der Rhomboederaxe beim Eisenglanz statt, indem der nach Oeffnen der Kette in den Magnetpolen zurückbleibende Magnetismus hinreicht, diese Einstellung zu bewirken.

Knoblauch schließt daraus: daß diejenige Linie, welche bei einem rein diamagnetischen Krystall zwischen den Polen die äquatoriale Lage annimmt, mit desto größerer Kraft in die axiale Stellung gedreht wird, je mehr die diamagnetischen Bestandtheile des Krystalls durch isomorphe magnetische ersetzt werden; und ferner:

daß dieselbe Richtung, welche in einem rein diamagnetischen Krystall sich senkrecht auf die Verbindungslinie der Magnetpole einstellt, sich bei einem rein magnetischen Körper von gleicher krystallinischer Structur den Polen zuwendet.

Um über die Art und Weise der magnetischen Wirkung in allen diesen Fällen eine Vorstellung zu gewinnen, wurden folgende Versuche angestellt:

Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwasser ein vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser zwischen den Magnetpolen natürlich so, daß die Längenaxe äquatorial steht. Drückt man ihn in der Richtung seiner größeren Ausdehnung so weit zusammen, daß das Parallelepiped in einen Würfel übergeht, so stellt sich dieselbe Richtung, welche vorher äquatorial war, wieder nach derselben Richtung. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor so weit fortgesetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist, so daß also die Ebene der Platte axial steht. Es tritt hier die Erscheinung auf, daß eine rein diamagnetische unkrystallinische Scheibe, deren jedes

Theilchen vom Magneten abgestoßen wird, sich zwischen den Polen axial stellt. Diese Erscheinung erklärt sich durch die Annahme, daß die diamagnetische Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die materiellen Theile des Körpers einander näher gerückt worden sind, größer ist.

Ein nicht comprimirter Würfel derselben Substanz zeigte keine richtende Kraft.

Wurde dem Mehle fein gepulvertes kohlensaures Eisenoxydul beigemischt, so stellte sich ein aus dem Gemenge gebildeter Stab axial. Drückte man ihn auf die angegebene Weise zusammen, so nahm die entstehende Platte eine äquatoriale Lage an, die Richtung der Compression blieb also axial. Derselbe Versuch ließ sich mit reinem kohlensauren Eisenoxydul anstellen. Wir sehen hier den Fall eintreten, daß eine magnetische Scheibe, deren Masse durchweg vom Magneten angezogen wird, sich äquatorial stellt. Die Erscheinung beruht einfach darauf, daß die magnetische Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die Theile einander genähert wurden, verstärkt worden ist.

Daraus läßt sich schließen, daß überhaupt in diamagnetischen wie in magnetischen Körpern, deren Theile nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, die (diamagnetische oder magnetische) Wirkung, welche sich an ihnen zwischen den Polen kund giebt, immer in der Richtung am stärksten ist, in welcher die materiellen Theile am nächsten bei einander sind.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, verfertigten Knoblauch und Tyndall aus einem Pulver von chemisch reiner kohlensaurer Kalkerde, dem als Bindemittel etwas Gummiwasser hinzugefügt, und das (während des Trocknens) in einem Schraubstock nach einer Richtung stark zusammengepreßt worden war, ein Rhomboeder von der Form des Kalkspathes mit der Rücksicht, daß die Axe dieses Rhomboeders mit derjenigen Richtung zusammenfiel, in welcher die Theile des kohlensauren Kalkes beim Zusammendrücken einander genähert worden waren.

Ein solcher verhielt sich nun zwischen den Magnetpolen in allen Beziehungen genau eben so, wie ein diamagnetisches Kalkspathrhomboeder.

Bei den Krystallen der drei letzten Krystallsysteme lassen sich die Erscheinungen, welche dieselben zwischen den Magnetpolen darbieten, durch die Annahme erklären, daß in ihnen die (magnetische oder diamagnetische) Wirkung nach einer Richtung hin ein Maximum, nach einer zweiten aber ein Minimum ist, während nach der auf diesen beiden senkrechten Richtung die Wirkung zwischen diesen beiden Extremen liegt. — Knoblauch und Tyndall ahmten die magnetischen Erscheinungen optisch zweiaxiger Krystalle dadurch nach, daß sie einen Teig von Wismuthpulver zwischen

Glasplatten in zwei auf einander senkrechten Richtungen mit ungleicher Kraft preßten.

Am Schlusse dieser Abhandlung bemerken Knoblauch und Tyndall, daß ihnen die neueste Plücker'sche Abhandlung erst zu Gesicht kam, als sie im Begriff standen, die ihrige abzusenden. Sie behalten sich vor, die von den ihrigen abweichenden Ansichten von Plücker und Beer bei einer späteren Gelegenheit zu besprechen.

Die Acten über diesen interessanten Gegenstand sind also noch keineswegs geschlossen, und deshalb läßt sich auch noch kein definitives Urtheil über die einander entgegen tretenden Theorien fällen, obgleich ich nicht verhehlen kann, daß mir die Ansichten Knoblauch's schon ihrer größeren Einfachheit wegen einen Vorzug zu verdienen scheinen.

Zehnter Abschnitt.

Thierische Elektricität.

Einleitung.

278 Auf dem Gebiete der thierischen Elektricität hat unsere Erkenntniß sehr bedeutende Fortschritte gemacht. Unter allen denen aber, welche diesen Gegenstand bearbeitet haben, ist sicher Du Bois-Reymond derjenige, welcher das Bedeutendste geleistet und die Wissenschaft mit den gediegensten Errungenschaften bereichert hat. Nicht allein eine Menge der wichtigsten Thatsachen hat er entdeckt, sondern auch, mit kritischem Scharfblick den Zusammenhang der Erscheinungen verfolgend, präcise Gesetze da nachgewiesen, wo bisher die größte Verwirrung herrschte.

Du Bois hat die Resultate seiner Jahre lang fortgesetzten Untersuchungen in einem Werke niedergelegt, welches zu Berlin unter dem Titel »Untersuchungen über thierische Elektricität« in den Jahren 1848 und 1849 erschienen ist. Leider ist es noch nicht vollendet, indem bis jetzt nur der erste Band und die erste Hälfte des zweiten vorliegt.

Dies Werk macht uns vollständig mit den neueren Fortschritten der Elektrophysiologie bekannt, indem es außer den eigenen Untersuchungen des Verfassers auch die Arbeiten anderer Gelehrten auf diesem Felde ausführlich bespricht; wenn ich also im Folgenden das Wesentlichste seines Inhaltes berichte, so dürfte wohl damit der Zweck unsers Berichtes vollständig erreicht seyn.

Du Bois schickt seinen eigenen Untersuchungen eine historische Einleitung voraus, in welcher er bis auf die ersten Untersuchungen Galvani's zurückgeht, was um so zweckmäßiger ist, als die Geschichte jener für die Elektricitätslehre so wichtigen Epochen bisher meist einseitig im Sinne des Voltaismus dargestellt wurde, dann aber auch weil durch die im

Jahre 1841 durch das Institut von Bologna erfolgte Herausgabe der „Opere edite ed inedite del Professore Luigi Galvani etc.“ neue, für diese Angelegenheit wichtige Documente bekannt geworden sind.

Wer diese Einleitung gelesen hat, wird das Buch schwerlich ohne Befriedigung aus der Hand legen. Du Bois hat mit dem größten Fleiße die Quellen studirt und berichtet mit lobenswerther Gewissenhaftigkeit; dabei ist das Bild, welches er vor dem Leser von jener für die Physik so denkwürdigen Zeit entfaltet, eben so lebendig und anziehend gemalt, wie es wahr und scharf gezeichnet ist.

Ich kann es mir nicht versagen, hier eine Stelle wörtlich anzuführen, in welcher das Verhältniß Galvani's und Volta's zu der sich neu entwickelnden Lehre sehr schön geschildert wird.

»Niemand, der Galvani's Schriften gelesen hat, wird ohne Ehr»furcht von dem schlichten Bilde des Mannes scheiden, dessen rastlosem, »wenngleich dunklem Streben und naiver Wißbegier solche Früchte zu »tragen beschieden war. Jeder wird ihn gern entschuldigen, daß er den »Weg eingeschlagen hat, den wir ihn alsbald werden gehen sehen. Der »von ihm entdeckte Thatbestand war einer Gleichung von zweien Unbe»kannten zu vergleichen, deren eine das jetzige, durch Volta geschaffene »Gebiet des Galvanismus, die andere aber wirklich die thierische Elek»tricität war, welche nunmehr, nach einem halben Jahrhundert ihr Recht »fordernd, abermals in die Schranken tritt. In der That, Galvani »hat, wie den physiologischen Grundversuch des eigentlichen Galvanismus, »so den der elektrischen Muskel- und Nervenphysik entdeckt: den ersten »wie den letzten noch dazu gehüllt in ein Chaos von Bedingungen, wo»durch die Erfolge in beiden Fällen als gleich wesentlich abhängig von den »thierischen Theilen selbst dargestellt wurden. Anatom und Physiolog »vom Fach, erfüllt von der damals geläufigen Vorstellung einer thieri»schen Elektricität, die er sogar im anatomischen Theater seinen Zuhörern »vortrug, war es kein Wunder, wenn er das dargebotene Räthsel vorzugs»weise von dieser Seite anzugreifen suchte, an welche sich bereits ein rei»ches Gebiet des Verständnisses anzuknüpfen schien. Allein auch Volta »schwärmte für denselben Gedanken; durch die vielen Enttäuschungen, die »in dieser Beziehung bereits stattgefunden hatten, mißtrauisch gemacht, »ging er, nach seinem eigenen Ausdruck, so wie er nur die neuen Wunder »selbst mit Händen gegriffen hatte, vom Unglauben zum Fanatismus »über. Dies verhinderte ihn jedoch nicht, die glänzenden Aussichten, die »sich durch Galvani's Entdeckungen für die Muskel- und Nervenphysik »eröffnet zu haben schienen, unbedenklich fahren zu lassen, als er, dem »damaligen Thatbestande gegenüber, das Unhaltbare derselben entdeckt zu »haben glaubte. Niemand, der mit unpartheiischem Blick jene Geschichte

»und das Verdienst ihrer Häupter zu würdigen wünscht, wird es wagen, »Galvani und Volta auf eine Stufe zu stellen und die riesenhafte »Ueberlegenheit dieses Physikers über alle seine Mitarbeiter und Gegner, »insbesondere über die Bologneser Schule, einen Augenblick zu verken»nen. Nicht leicht möchte sich in einer Natur wieder dieser Reichthum »an unvergleichlichen Forschergaben vereinigt finden, wie in Volta's: »dieses, um mit Dove zu reden, »»unbegreifliche Talent,«« das »Wesentliche vom Unwesentlichen in einer verwickelten Erscheinung zu »befreien; diese Kühnheit der Erfindung, welche dem Versuch vorangeht, »gebändigt durch die strengste und umsichtigste Methode; dieser unablässig »rege Sinn des Beobachters, dem kein Umstand entschlüpft; endlich ne»ben so viel Feinheit so viel Einfalt und Großartigkeit der Anschauung, »neben solchem Denkerkopfe so die Hand des Mechanikers. Seltsam ist »es nur, daß es eine deutsche Stimme seyn muß, welche über die Alpen »hinüber einen italiänischen Gelehrten wegen Verunglimpfung der Größe »Volta's zur Ordnung ruft.«

Hier ist Gherardi gemeint, welcher größtentheils die Redaction der oben erwähnten Sammlung von Galvani's Werken besorgte und welcher sich in einem vorausgeschickten »Rapporto« bemüht, Galvani um jeden Preis, selbst auf Kosten Volta's, als eine der bedeutendsten und hervorragendsten Persönlichkeiten geltend zu machen.

Nachdem Galvani an einem präparirten Frosch den Rückschlag beobachtet hatte, welchen ein aus dem Conductor der Elektrisirmaschine gezogener Funke hervorbringt, untersuchte er den Rückschlag durch den Blitz. Diese Versuche beschäftigten ihn während des Sommers 1786. Im Herbste desselben Jahres suchte er die Wirkung der atmosphärischen Elektricität bei nicht gewitterndem Himmel auf die präparirten Schenkel zu ermitteln. Es war am Abend des 20. Septembers, daß Galvani jene folgereiche Beobachtung von Zuckungen machte, welche den Ausgangspunkt für die neuere Elektricitätslehre bildet.

Diese Versuche und die daran geknüpften Folgerungen veröffentlichte Galvani erst im Jahre 1791 in seiner berühmten Schrift: »De viribus Electricitatis in motu musculari Commentarius.« In diesem Commentar wird der Versuch als mit kupfernen (aereus) Haken angestellt angegeben, während sich in Galvani's hinterlassenen Papieren der Entwurf einer Abhandlung befindet, gezeichnet vom 30. October 1786, in welchem nur von eisernen Haken die Rede ist. Dies rührt wohl unstreitig daher, daß Galvani im Lauf der Versuche die Ueberlegenheit des ungleichartigen Metallbogens kennen gelernt hatte und daß er wünschte, etwaigen Wiederholungen seines ersten Versuchs in der ursprünglichen Gestalt die möglichste Sicherheit zu geben.

Auf dem Umschlag der Tagebücher, die seine ersten galvanischen Versuche vom September 1786 enthalten, findet man von Galvani's eigener Hand die Aufschrift: »Esperimenti circa l'Electricitate de' metalli.« Er hatte also anfangs eine richtigere Vorstellung über die Quelle der Elektricität, welche die von ihm entdeckte Zuckung hervorbrachte, allein schon die Abhandlung vom 30. October hat die Aufschrift: »de animali Electricitate.«

Nach Galvani's Theorie sind die Muskeln die vorzüglichsten Behälter der thierischen Elektricität. Sie stellen gleichsam eine Leidner Flasche dar und zwar ist ihre äußere Oberfläche negativ, in ihrem Innern ist dagegen die positive Elektricität angehäuft. Der Nerv ist der Conductor dieser Flasche, der neben den Blutgefäßen die Muskeln mit Elektricität versieht.

»Der Sturm«, sagt Du Bois, »welchen das Erscheinen des Com»mentars in der Welt der Physiker, der Physiologen und Aerzte erregte, »kann nur mit dem verglichen werden, der zu derselben Zeit (1791) am »politischen Horizont Europas heraufzog. Man kann sagen, wo es Frö»sche gab und wo sich zwei Stücke ungleichartigen Metalls erschwingen »ließen, wollte Jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der »verstümmelten Gliedmaßen überzeugen; die Physiologen glaubten ihren »hergebrachten Traum einer Lebenskraft mit Händen zu greifen, den »Aerzten, denen Galvani selbst bereits mit Erklärungsversuchen von »allerlei Nervenkrankheiten, Ischias, Tetanus und Epilepsie nur allzu »leichtfertig vorangegangen schien, keine Heilung mehr unmöglich und zum »wenigsten scheintodt konnte niemand mehr begraben werden, der zuvor »galvanisirt worden war.«

Am lebhaftesten war natürlich die Aufregung in Italien selbst und namentlich in Volta's Umgebung. In vieler Beziehung erscheint gerader er berufen, die Untersuchung aufzunehmen, weil er schon die feinsten elektrischen Untersuchungen durchgeführt und namentlich am Elektrophor und dem Condensator eine Schule durchgemacht hatte.

Nachdem sich Volta von der Richtigkeit der Thatsache überzeugt hatte, faßte er sie Anfangs ganz im Sinne Galvani's auf, allein er gab seinen Untersuchungen sogleich eine mehr physikalische Richtung. Volta wieß nach, daß das Froschpräparat durch eine Ladung der Kleist'schen Flasche erschüttert werde, die kaum 0,1^0 des Bennet'schen Goldblattelektrometers betrage und nur mit Hülfe seines Condensators wahrgenommen und bestimmt werden könne. Den Froschschenkel selbst, nach Galvani's Ansicht, als eine Leidner Flasche betrachtend, suchte er die Stärke ihrer Ladung zu ermitteln; er vergleicht sie mit 0,05 höchstens 0,1 Grad seines Strohhalmelektrometers. Um das Zeichen der Vertheilung in Bezug

auf Nerv und Muskel zu bestimmen, entlud er durch den Frosch eine ganz schwach geladene Flasche bald in der Richtung von der Wirbelsäule zu den Muskeln, bald im umgekehrten Sinn, und fand, daß im ersten Falle Zuckungen erfolgten, im zweiten nicht, und schloß daraus, daß im ersten Falle der Entladungsstrom der schwach geladenen Flasche und des Froschschenkels gleiche, im zweiten Falle aber entgegengesetzte Richtung habe, daß also, Galvani's Ansicht entgegen, der Nerv negativ, die Außenfläche des Muskels aber positiv sey.

Hier hat nun Volta wirklich das Richtige durch Zufall getroffen, denn die eben angeführte Erscheinung hat, wie wir weiter unten sehen werden, einen ganz andern Grund.

Nun aber wird Volta an Galvani's Deutungsart irre. Er findet, daß unter weniger günstigen Umständen die Zuckung nur noch durch Metallbogen hervorgebracht werden kann, welche aus ungleichartigen Metallen zusammengesetzt sind. Er ging darauf aus, am lebenden menschlichen Körper durch denselben Kunstgriff ungleichartiger Metallbewaffnung Zuckungen zu erregen; er belegte die obere und untere Seite der Zunge respective mit Zinn und Silber und fand, als die beiden Metalle in Berührung gebracht wurden, statt der erwarteten Muskelbewegung eine seltsame Geschmacksempfindung. So brachte Volta zum erstenmale den alten Sulzerschen Geschmacksversuch in seine natürliche Verkettung. — Hier konnte also nicht von einer Entladung die Rede seyn, sondern von einem noch dunklen Spiel der Wirkungen ungleichartiger Metallbelege, welches sich während der ganzen Dauer des Geschlossenseyns unabläßig erneuert.

Volta sprach nun seine Ansicht dahin aus, daß die Mehrzahl der galvanischen Erscheinungen mit einer thierischen Elektricität nichts zu schaffen hätte, sondern daß die Zuckung von einer sehr schwachen künstlichen Elektricität herrühre, welche durch das Anlegen ungleichartiger Metalle erzeugt würde. Alsbald ging er aber noch weiter, indem er behauptete, daß selbst in solchen Fällen, wo man glaubte, es mit gleichartigen Metallen zu thun zu haben, irgend eine unbemerkt gebliebene Verschiedenheit in der Oberfläche des Metalls die Ursache der Elektricitätsentwickelung gewesen sey. Um zu zeigen, wie leicht sich solche Verschiedenheiten einstellten, machte er den Versuch mit einem wirklich gleichartigen eisernen Bogen, d. h. mit einem solchen, welcher am Froschschenkel keine Zuckung hervorbrachte; das eine Ende dieses Bogens wurde nun eine halbe Minute lang in siedendes Wasser getaucht und vor der Abkühlung desselben der Versuch am Froschschenkel wiederholt, und nun zeigte sich die Zuckung. Dasselbe ergab sich durch Anlassen des einen Endes, während das andere hart blieb. Er ließ nun die Vorstellung einer thierischen Elektri-

cität ganz fallen, indem er überall, wo Zuckungen beobachtet wurden, eine Heterogenität im Metallbogen als Ursache derselben annahm.

Wollte Galvani seine Theorie aufrecht erhalten, so mußte er Zuckungen mit absolut gleichartigen Metallbogen oder Zuckungen ohne Metalle hervorbringen. In der That versuchte er dieß, unterstützt von seinem Neffen Aldini, und wenn ihre Vertheidigung auch keineswegs in allen Theilen eine glückliche genannt werden kann, denn sie beweisen in derselben mehrmals, daß sie Volta's Einwürfe gar nicht richtig verstanden hatten, so führten ihre Bestrebungen dennoch dahin, daß Galvani wirklich Zuckungen ohne Metall hervorbrachte, welche man unbedenklich als von thierischer Elektricität herstammend anerkennen konnte. Wären er und seine Anhänger nun dabei stehen geblieben, diese und solche Zuckungen, welche bei wirklich homogenen Metallbogen entstehen, der thierischen Elektricität zu vindiciren, dabei aber anzuerkennen, daß die kräftigere Wirkung, welche man bei Anwendung ungleichartiger Metallbogen erhält, nach der Volta'schen Ansicht zu erklären sey, so wäre schon damals eine der Wahrheit entsprechende Ausgleichung des Streites möglich gewesen. Man wollte aber durchaus Galvani's Theorie über das ganze Gebiet der beobachteten Zuckungen ausdehnen und erklärte die größere Wirksamkeit ungleichartiger Metallbelege durch den Widerstand, den diese Art der Zusammensetzung des Bogens dem Durchgange der thierischen Elektricität entgegenstelle, wodurch denn eine stärkere Anhäufung und eine kräftigere Entladung derselben bewirkt werden sollte.

Die Versuche, um Zuckungen ohne Metalle zu erhalten, hat Galvani in mannichfacher Weise modificirt und in einer anonymen Schrift beschrieben, welche unter dem Titel: »Dell' uso e del attivita dell' Arco conduttore nelle contrazzione de' muscoli,« wahrscheinlich im Jahre 1794 erschienen ist. Sie fand nur eine geringe Verbreitung. — Manche der von Galvani angegebenen Formen des Versuchs sind nicht tadellos, die folgende aber kann wirklich als der Grundversuch der elektrischen Muskel- und Nervenphysik bezeichnet werden: Man schneide an dem Galvani'schen Froschpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelkanal ab, und ohne sie in irgend eine Flüssigkeit zu tauchen oder sonst einem verändernden Einfluß auszusetzen, bringe man sie mit der Außenfläche des einen Schenkels in Berührung, entweder indem man sie mit einem Nichtleiter aufhebt und dann wieder fallen läßt, oder indem man sie mit demselben sanft dagegen führt, und zwar, wo möglich nur gegen einen einzigen Punkt der Muskeln; sogleich würden die Schenkel zucken.

Ja Galvani brachte sogar den Schenkel zum Zucken, indem er den Nerven mit einem fremden Muskel in Berührung brachte, welcher mit

den Schenkeln gar nicht leitend verbunden war; er ließ den Nerven des nicht enthäuteten Präparats auf ein Stück Bauchmuskel fallen, welches, auf einer Glasplatte ruhend, sonst in keiner Verbindung mit dem Frosche stand, und der Schenkel zuckte. Wir werden den wahren Zusammenhang dieser Erscheinung später kennen lernen.

Volta hebt nun diesen Versuchen gegenüber besonders hervor, daß diese Zuckungen außerordentlich schwach sind gegen diejenigen, welche durch ungleichartige Metalle entstehen, daß sie nur in seltenen Fällen höchster Leistungsfähigkeit des Froschpräparates auftreten, und suchte anfangs diese Zuckungen durch eine mechanische Reizung der Nerven zu erklären; doch gestand er später selbst ein, hier zu weit gegangen zu seyn, nachdem es ihm gelungen war, seine Theorie so zu modificiren, daß sie auch diese Thatsache erklären konnte. Er sagt, man könnte sich nach diesen Versuchen veranlaßt finden, auf den Standpunkt zurückzukehren, welchen er im Sommer 1792 eingenommen hatte: nämlich einen Theil der Erscheinungen auf Rechnung der Metalle bringen und die Zuckungen mit gleichartigen Bögen und ohne Metalle von einer wirklichen ächten, den thierischen Gliedern eingeborenen Elektricität herleiten. Aber warum, fragt er, einerlei Wirkung verschiedene Ursache unterlegen? seine Grundsätze reichten hin, auch diese scheinbar davon abweichenden Resultate zu deuten. Volta's Erklärung des fraglichen Phänomens kommt darauf zurück, daß zwei einander ungleichartige thierische Theile, z. B. Nerv und Muskel, durch Dazwischenkunft eines feuchten Leiters zur Kette vereinigt würden, denn, wenn der Versuch gelingen soll, so darf der Schenkelmuskel, auf welchen man den Nerven legt, nicht ganz rein, sondern er muß, wie dies auch seine Gegner anführen, mit Blut oder sonst einer zähen Flüssigkeit verunreinigt seyn. Blieben die Zuckungen aus, so genüge es daher, um sie zu erzeugen, die Theile, welche zur Berührung gebracht werden sollte, mit Speichel, mit Salzwasser, mit Schleim u. s. w., noch besser aber mit Seifenwasser und am besten mit stark sauren oder alkalischen Flüssigkeiten zu benetzen.

Nun, wo es um die thierische Elektricität wirklich bedenklich zu stehen scheint, tritt Humboldt für dieselbe in die Schranken. In seinem berühmten Werke: »Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. (Posen und Berlin 1797), beschreibt er eine Reihe von Versuchen, welche Zuckungen von Froschschenkeln unter Umständen hervorbrachten, in welchen sowohl der Verdacht der mechanischen Reizung als auch der Verunreinigung durch Blut, Schleim u. s. w. gänzlich beseitigt war, indem nur Nerv und Muskelfleisch in Berührung kamen. Humboldt faßt die Ergebnisse seiner Versuche folgendermaßen zusammen: »Hier hatte ich also lebhafte Muskelbewegungen erregt

»1) indem ich die Lende eines Thieres gegen den »Ischiadnerven zurückbog, mit dem sie noch »organisch verbunden war;

»2) indem der Cruralnerv und sein Schenkelmus»kel mittelst eines abgeschnittenen Stückes »Cruralnerv zugleich berührt wurde, und

»3) indem thierische Theile eine Leitung von ei»nem Theile des Nerven zum andern bildeten.

»In dem ersten Falle war der Contact bloß unter solchen Theilen, »welche organisch mit einander verbunden waren. In den beiden letz»ten Fällen geschah derselbe mittelst getrennter Stücke, welche aber kurz »vorher noch dem gereizten Organe angehörten und entweder der sensibeln »oder irritabeln Fiber homogen waren.«

Ferner beweist Humboldt die Möglichkeit von Zuckungen mit wirklich gleichartigen Metallbogen. In Beziehung auf Volta's entgegenstehende Behauptungen sagt er: »Es ist unwidersprechlich wahr, und durch die »Beobachtungen des großen Ticinischen Naturlehrers erwiesen, daß »Thiere, bei denen homogene Metalle keine Convulsio»nen erregen, dieselben sogleich erleiden, wenn die Me»talle durch die leiseste Abänderung des Mischungsver»hältnisses, der Politur, Härte, Form, Temperatur, un»gleichartig gemacht werden. Dieses ist das Resultat jener Ver»suche, wie mir scheint, nicht aber der Satz, den Volta aufstellt: daß »nur unter der Bedingung einer Ungleichartigkeit in den »Metallen Muskelbewegungen erfolgen könne.«

So weiß Humboldt mitten im leidenschaftlichen Kampfe mit klarem Blick den richtigen Standpunkt aufzufinden.

Auch Galvani suchte noch in mehreren Briefen an Spallanzani die Verdächtigungen zu entkräften, welche Volta gegen die Zuckung ohne Metalle vorgebracht hatte, um alsbald vom Schauplatz abzutreten, indem er am 4. December 1798 starb, vielleicht ein Glück für ihn, ohne die Entdeckung der Säule und den dadurch herbeigeführten gänzlichen Untergang seiner Lehre zu erleben.

Aber auch Volta hatte unterdessen, auf seinem Wege vorwärtsstrebend, Riesenschritte gemacht. Bisher hatte er es noch ganz unentschieden gelassen, ob die Ursache des Stromes eher in der Berührung der Metalle unter sich, als in der Berührung der Metalle mit der Flüssigkeit zu suchen sey; ja er neigte sich sogar entschieden zu der Ansicht, die Berührungsorte der Metalle mit der Flüssigkeit seyen der Sitz des stromerregenden Vorganges. Erst später überzeugte er sich, daß bei der gewöhnlichen Art, die Galvani'schen Versuche anzustellen, wobei die Metalle an wässerige oder

ähnliche feuchte Leiter angelegt werden, weit mehr der wechselseitigen Berührung der Metalle, als ihrer Berührung mit dem feuchten Leiter zugeschrieben werden müsse, und nun folgt die berühmte Versuchsreihe, welche unter dem Namen der Volta'schen Fundamentalversuche bekannt ist, durch welche die Elektricitätserregung durch Berührung homogener Metalle experimentell nachgewiesen wurde.

Zu Ende des Jahres 1799 glückte ihm der Schritt, von dem er selbst sagt, daß er ein großer gewesen sey.

Es war die Entdeckung der Säule.

Durch die Säule war der Sieg seiner Ansichtsweise entschieden. Nur noch Aldini war für die verlorene Sache der thierischen Elektricität thätig und gab im Jahre 1804 ein Prachtwerk in französischer Sprache unter dem Titel „Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme" heraus. In diesem Werke führt er neben vielen ganz werthlosen Versuchen manche als neu an, welche längst von andern Naturforschern beschrieben waren, ja er geht so weit, ein Plagiat an Galvani zu versuchen, indem er sich die Entdeckung der Zuckungen ohne Metalle vindicirt. Mit Aldini's Werk tritt die thierische Elektricität für einen Zeitraum von 23 Jahren von der Bühne der Wissenschaft ab, denn bis zum Jahre 1827, wo Nobili die elektromagnetische Wirkung des Froschstroms darthat, treten nun noch einzeln stehende Bestätigungen des Grundversuchs ohne Metalle auf.

279 **Elektromagnetische Wirkungen des Froschstroms.** Oersted hatte im Jahr 1840 die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom entdeckt, welche alsbald zur Construction des Multiplicators führte, durch welchen, wie Du Bois treffend sagt, »die Metallelektricität in »den Stand gesetzt wurde, das Unrecht zu vergüten, dessen sie sich an ihrer »zarteren Zwillingsschwester in frühern Jahren schuldig gemacht.«

Nobili hatte durch Anwendung der Ampère'schen astatischen Doppelnadel dem Multiplicator einen bis dahin nicht geahnten Grad von Empfindlichkeit gegeben. Der erste Gebrauch, den er davon machte, war, daß er elektrische Ströme in den Nerven aufsuchte. Seine Bemühungen blieben vergeblich. Nobili wollte nun die Empfindlichkeit des Froschpräparats mit der seines Multiplicators vergleichen. Es ist ein alter Versuch, daß das Galvani'sche Froschpräparat zuckt, wenn man Wirbelsäule und Füße in zwei Gefäße mit Wasser oder Salzlösung taucht und diese leitend verbindet, etwa durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollendochte. Als derselbe Strom, welcher das Froschpräparat zucken machte, auch durch den Multiplicator geleitet wurde, blieb aber die Nadel ruhig. Der schwache Strom also, welcher das Froschpräparat noch zucken macht, konnte die Nadel des Multiplicators nicht mehr bewegen.

Nun wandte Nobili allen Fleiß auf die Herstellung eines neuen, noch vollkommneren Multiplicators: jetzt erhielt er mit Salzlösung in den Gefäßen einen ersten Ausschlag von 10°, 20°, ja von 30°. Enthielten dieselben nur Wasser, so betrugen die Ausschläge nur wenige Grade, und auch diese Ausschläge verschwanden, als die Wasserstrecke verlängert wurde, während ein kräftiger Frosch unter diesen Umständen noch fortfuhr, durch schwache Zuckungen seine überlegene Empfindlichkeit darzuthun. — Die Ablenkung des Multiplicators war aber, wenn sie erfolgte, stets so gerichtet, daß er einen positiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zum Kopf in dem Frosch anzeigte. Diesen Strom, denselben, welcher die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili „la corrente propria della rana“; wir nennen ihn Froschstrom.

Die wichtigsten Thatsachen, welche Nobili in Beziehung auf den Froschstrom ausmittelte, sind folgende:

Der Froschstrom ist nicht bloß im Augenblick der Schließung, sondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5° beständiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetz der Säule geordnet, in den Kreis einführt; ein zweiter Frosch gab 8°, ein dritter gab 11° beständiger Ablenkung. — Das Daseyn des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervorgeht, daß die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchstens nach ¼ Stunde aufhören. Die Mehrzahl der frisch zubereiteten Frösche zeigt nur die Schließungszuckung, während bei sehr kräftigen auch die Oeffnungszuckung wahrgenommen wird; wenige zeigten nur die Oeffnungszuckung.

Was die Theorie des Froschstromes anlangt, so huldigte Nobili der Ansicht, diese Ströme seyen thermoelektrischen Ursprungs, und leitete sie aus der stärkeren Abkühlung her, welche die geringere Masse der Nerven im Verhältniß zu der geringeren Abkühlung der größeren Masse der Muskeln durch die Verdunstung erleiden.

Diesen Aussprüchen einer solchen Autorität ist es wohl beizumessen, daß die Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstroms so wenig Aufsehen erregte und einen so geringen Einfluß auf die Behandlung der thierischen Elektricität gewann.

Erst den Bestrebungen Matteuccis gelang es, die Bedeutung zur Einsicht zu bringen, welche der Froschstrom für die organische Physik hat. — Schon früher hatte er sich mit allerlei elektrisch-physiologischen Untersuchungen beschäftigt, deren Betrachtung wir übergehen, weil sie weder mit

unserm Gegenstande in näherer Beziehung stehen, noch an und für sich irgend nennenswerthe Resultate ergaben.

Sehr wahr charakterisirt Du Bois den Geist, welcher sich in allen Arbeiten Matteucci's kund giebt, in folgender Weise: »Dieselbe Untreue »der Natur, sich selbst und andern Forschern gegenüber, dieselbe Leichtfer»tigkeit in seinen Behauptungen und in seinen Hypothesen, welche mehr »geeignet scheinen Aufsehen zu erregen, als sich den Thatsachen anzuschmiegen; »dieselbe Lockerheit der Schlußfolgen, wodurch er verhindert wird, den »Vortheilen nachzugehen, womit ihn der Zufall während seiner langen mit »anerkennenswerther Emsigkeit geführten Forschungen mehrmals glänzend »beschenkte; endlich eine Vernachlässigung der Form, welche nicht durch »den Gebrauch einer fremden Sprache entschuldigt werden kann, da sie »sich mehr in der mangelhaften Gliederung des Stoffs und in der viel»deutigen Unbestimmtheit des Ausdrucks kund giebt: dies sind die Uebel»stände, welche wir im Laufe dieses Werkes noch häufig zu bekämpfen »haben werden.«

Es ist sehr zu bedauern, daß Matteucci diejenigen Entdeckungen und Forschungen, welche wirklich einen Werth für die Wissenschaft haben, in der leidigen Sucht, massenweise seine Aufsätze in die Welt zu schicken, so sehr mit Werthlosem und Irrigem verdünnt, publicirt hat, daß er aus Eitelkeit sich so viele Sünden gegen die Wahrheit zu Schulden kommen läßt; er veröffentlicht seine Untersuchungen größtentheils in verschiedenen Journalen Italiens, Frankreichs und Englands; meist findet man in seinen Aufsätzen einen geringen Gehalt an Neuem mit solchem zusammengestellt, was er schon an zehn andern Orten in etwas anderer Weise publicirt hat. In der Hast, eine neue Waare zu Markt zu bringen, muß er natürlich sehr häufig Unreifes und Irriges hinaussenden, er kommt daher sehr häufig in den Fall, daß er sich später selbst eines Bessern überzeugt. Aber Matteucci widerruft nie, die neue Ansicht wird publicirt, ohne der alten auch nur mit einer Silbe zu erwähnen, diese wird völlig ignorirt, nie corrigirt. Große Gewandtheit besitzt Matteucci darin, die Untersuchungen älterer und neuerer Naturforscher zu benutzen ohne sie zu nennen, und so sich mit fremden Verdiensten zu schmücken.

So scheinen denn Matteucci's Aufsätze mehr dazu gemacht, Aufsehen zu erregen als studirt zu werden; sie bilden ein Chaos, aus dem das Wahre und Werthvolle nur mit Mühe hervorgezogen werden kann. Kein Wunder ist es, wenn wir unter diesen Umständen sehen, wie Du Bois, nachdem er sich durch dieses Labyrinth durchgearbeitet hat, voll gerechten Ingrimms die Geißel über ein solches Treiben schwingt. Wir müssen Du Bois' Kritik, welche er in diesem Werke sowohl, als auch im Berliner Jahresbericht über Matteucci ergehen läßt, um so mehr als gerechtfer-

tigt erklären, als die Unarten, welche hier gezüchtigt werden und welchen sich Matteucci in so hervorstechendem Maaße schuldig macht, mehr oder weniger auch andern Naturforschern zur Last fallen, und es im Interesse der Wissenschaft wirklich wünschenswerth ist, dergleichen mehr und mehr ausgerottet zu sehen.

Becquerel hatte im Jahre 1836 eine Theorie der Zitterfische aufgestellt, der zu Folge sich die Elektricität im Moment des Schlages im Gehirn entwickelt und von hier aus dem elektrischen Organ zugeführt wird, um hier zur Ladung der kleinen Säulen zu dienen, aus denen es zusammengesetzt ist.

Matteucci bemächtigt sich dieses Gedankens; ohne Becquerel zu nennen, publicirt er diese Theorie in verschiedenen Journalen. In seinem „Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux 1844" thut er derselben gar keine Erwähnung mehr, weil er wohl unterdessen die Unhaltbarkeit dieser Ansicht eingesehen hatte, ohne jedoch irgendwo klar und deutlich seine Meinungsänderung angezeigt zu haben.

Diese Theorie nun führte ihn zum Studium des Froschstroms. Er nahm an, die Elektricitätsentwickelung im Gehirn entspringe aus der Berührung des „élément nerveux" und des „élément sanguin", die sich im Gehirn befänden; und dieselben wirksamen Bestandtheile erblickte er im elektromotorischen Schenkel des Frosches, und sein Bestreben ging zunächst dahin, den Froschstrom von dem Verdacht eines gemeinen elektrochemischen oder thermoelektrischen Ursprungs zu befreien.

Die ersten Untersuchungen über den Froschstrom in Verbindung mit solchen über den Zitterrochen publicirte Matteucci im Jahre 1837. Im Jahre 1838 publicirte er einen für uns wichtigeren Aufsatz über den Froschstrom allein. Er bediente sich zu den Versuchen, welche in diesem Aufsatz besprochen werden, eines Multiplicators von 2500 Windungen mit Platinenden, die in zwei mit verdünnter Salzlösung gefüllte Porzellangefäße tauchten, die ich mit a und b bezeichnen will. a war mit einem dritten Gefäße c, b mit einem vierten d, welche gleichfalls verdünnte Salzlösung enthielten, durch dicke Baumwollendochte verbunden. Die Schließung der Kette geschah durch die Verbindung von c und d mittelst des Froschpräparates.

Die wichtigsten Resultate, die er hier mittheilt, sind folgende. Man erhält einen Strom, eben so stark wie den des Galvani'schen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Frosch zum Versuch verwendet und die Füße in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß taucht. Mit dem Galvani'schen Präparat erhält man den Strom noch in ungeschwächter Stärke und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeschnitten sind, den Unterschenkel auf

der einen, den Oberschenkel auf der anderen Seite eintaucht. — Was die Größe der Multiplicatorwirkung betrifft, so erhielt Matteucci bei Weglassung der beiden mittleren Gefäße einen Ausschlag von 25 — 30°, und eine beständige Ablenkung von 3°, welche aber wegen der wachsenden Polarisation an den Platinplatten binnen einer viertel Stunde auf 2° sank. Wurde nun nach Entfernung des Frosches die Kette durch einen Docht geschlossen, so erfolgte ein von der Ausgleichung der Polarisation herrührender Ausschlag von 15 — 20 Graden nach der entgegengesetzten Seite. — Weil der Froschstrom eine ziemlich dicke Schicht von Salzwasser durchdringe, so müsse er, meinte Matteucci, auch einer elektrochemischen Wirkung fähig seyn (?), und versuchte diese durch Jodkaliumlösung nachzuweisen. — An tetanischen Fröschen solle der Strom fehlen. — Ein durch Eis erkalteter Frosch gebe gleichfalls keinen Strom mehr u. s. w.

Von dem »courant propre des nerfs et du sang«, welche Hypothese der Ausgangspunkt dieser Untersuchungen für Matteucci war, ist hier schon nicht mehr die Rede, er sagt, die Ursache des Froschstroms sey uns schlechterdings unbekannt.

Matteucci's wahres Verdienst in dieser Arbeit ist in dem Nachweis zu suchen, daß der elektromotorische Vorgang, auf welchem der Froschstrom beruht, unabhängig ist von der Berührung vom Muskel- und Nervengewebe außerhalb der Glieder oder ihrer Schließung zum Kreise; daß die Verbindung von je zwei Punkten des Frosches, z. B. Unterschenkel und Rücken, einen Strom gebe. Durch diese Entdeckung fällt die ältere Volta'sche Theorie, Nobili's thermoelektrische Hypothese und die Vorstellung eines gemeinen elektrochemischen Vorgangs in sich zusammen. Die hier von Matteucci angewandte Beobachtungsmethode enthält den Keim, dessen weitere Entwickelung die Mittel bietet, die Gesetze des Muskelstroms näher zu erforschen. — Diese Arbeit, welche später in Matteucci's »Essai sur les phénomènes électriques des animaux« Paris 1840, als sechstes Kapitel der zweiten Abtheilung unverändert und ohne Zusatz nochmals abgedruckt wurde, bildet den Ausgangspunkt der Untersuchungen, welche Du Bois über thierische Elektricität anstellte.

Die ersten Erfolge in der Bearbeitung des Gegenstandes erhielt derselbe im Frühjahr 1842. Im Januarheft 1843 von Poggendorff's Annalen erschien ein Aufsatz von Du Bois unter dem Titel: »Vorläufiger Abriß einer Untersuchung über den Froschstrom und über die elektromotorischen Fische«, welche die Resultate seiner ersten Untersuchungen enthält. Ich werde über diese Arbeit nicht besonders berichten, weil ihre Resultate in das größere Werk übergegangen sind, welches wir eben besprechen.

Der Multiplicator. Hier mag in Kürze das Wichtigste von dem 280
folgen, was Du Bois mit dankenswerther Ausführlichkeit über die Construction und die Anwendung dieses Instrumentes sagt.

Da der Leitungswiderstand der elektromotorischen Theile des thierischen Körpers, welche durch den Multiplicator geschlossen werden, sehr bedeutend ist, so muß man zur Construction eines zu diesen Versuchen brauchbaren Multiplicators auch einen sehr langen und dünnen Draht verwenden. Zum Du Bois'schen Multiplicator waren 1000 Meter Kupferdraht von 0,17^{mm} Durchmesser verwendet worden, und zwar bildete dieser Draht 4650 Windungen. In der Form wich dieser Multiplicator etwas von den bisher gebräuchlichen ab. Die Länge des Rahmens, auf welchen der Draht aufgewunden wurde, war im Lichten 64^{mm} lang und 37^{mm} breit; die Höhe der Querleisten, also der Zwischenraum, in welchem die untere Nadel spielte, war nur 4^{mm} hoch. Die Länge der Seitenwände betrug 110, ihre Höhe 51 Millimeter. Der durch die Drahtwindung gebildete Körper war also schmaler und höher als gewöhnlich.

Die Länge der Nadeln betrug 58,4^{mm}, ihr Durchmesser 1^{mm}, ihr Abstand im Lichten 25^{mm}.

Die Nadeln waren cylindrisch mit kegelförmigen Spitzen; jede Nadel wog 384, das neusilberne Verbindungsstück 408 Milligramm. Später wandte Du Bois ein anderes Spiel Nadeln an, welches bei gleicher Empfindlichkeit eine geringere Schwingungsdauer hat. Länge und Abstand der Nadeln waren dieselben, die Nadeln aber etwas dünner und allmälig zugespitzt. Das Gewicht jeder Nadel beträgt 226, das Gewicht des kupfernen Verbindungsstückes 130 Milligramm.

Die Franzosen verwenden in der Regel noch weit leichtere Nadeln, welche allerdings eines stärkern Magnetismus fähig sind, deren magnetischer Zustand aber auch bei weitem nicht so stabil ist als der der stärkern Nadeln; deshalb verliert sich bei den französischen Instrumenten so leicht die Astasie, namentlich wenn die beiden Nadeln nicht gleich lang sind.

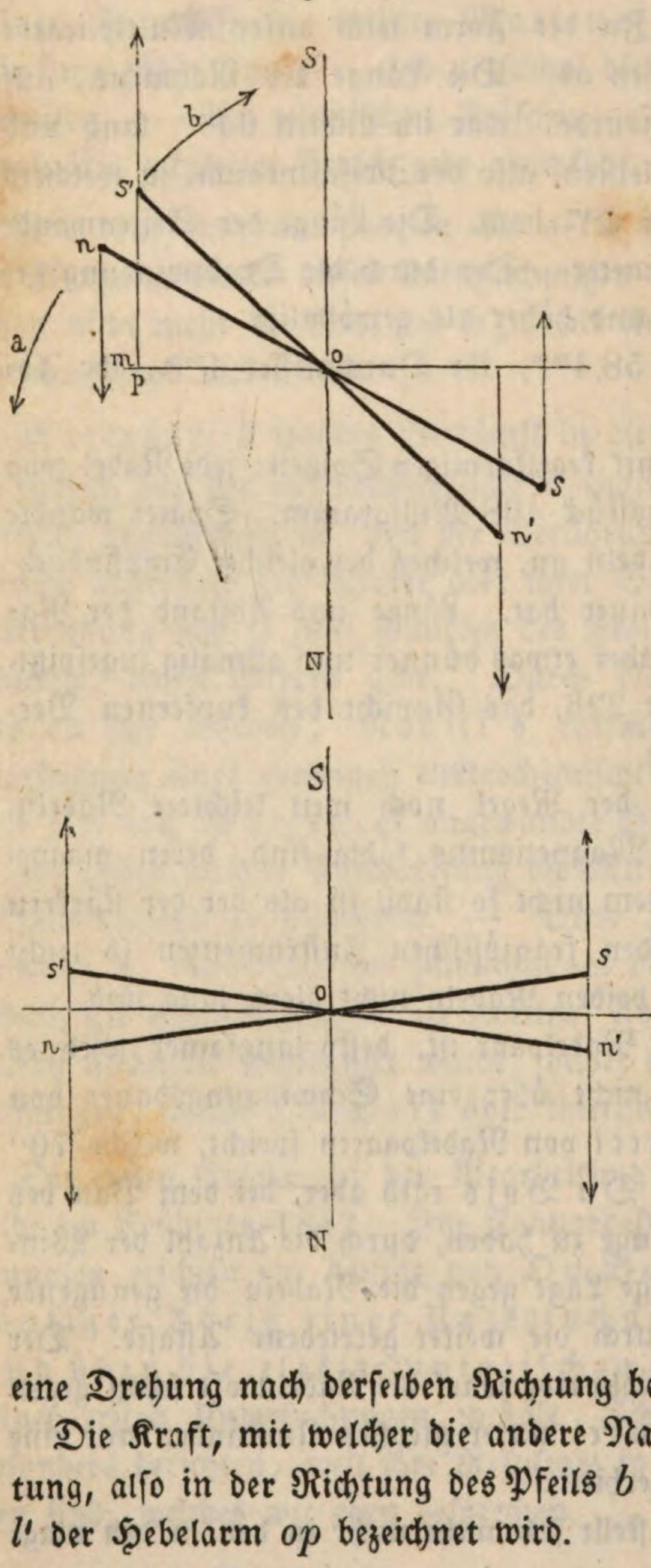
Je vollkommner astatisch ein Nadelpaar ist, desto langsamer wird es schwingen. Du Bois hat es nicht über eine Schwingungsdauer von 30″ gebracht, während Matteucci von Nadelpaaren spricht, welche 70″ zu einer Schwingung brauchten. Du Bois räth aber, bei dem Bau des Multiplicators es vielmehr im Auge zu haben, durch die Anzahl der Windungen und ihre möglichst günstige Lage gegen die Nadeln die genügende Empfindlichkeit zu erzielen, als durch die weiter getriebene Astasie. Der von Du Bois gebrauchte Multiplicator warf die Nadeln oft schon gegen die Hemmung, während Matteucci unter gleichen Umständen nur eine Ablenkung von wenigen Graden erhielt.

Ein gut astatisches Nadelpaar stellt sich nicht mehr in den in den mag-

netischen Meridian ein, sondern weicht um so mehr von demselben ab, je vollkommner die Astasie ist, sich endlich nahezu rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellend. Du Bois nennt dies bezeichnend die freiwillige Ablenkung astatischer Nadelpaare. An der Größe dieser freiwilligen Ablenkung kann man die mehr oder weniger vollkommene Astasie der Nadeln erkennen.

Schon Nobili hat den Grund der freiwilligen Ablenkung richtig darin gefunden, daß die Horizontalprojectionen beider Nadeln nie ganz zusammenfallen, sondern einen mehr oder weniger großen Winkel mit einander machen. Es ist dies mit Hülfe der Figur 274 leicht zu übersehen. Es seyen *ns* und *n's'* die Horizontalprojectionen der beiden vollkommen gleichen und gleich stark magnetischen Nadeln, *NS* der durch ihren Kreuzungspunkt *o* gelegte magnetische Meridian. Die Kräfte, welche die Nadeln zu drehen streben, können wir uns in ihren Endpunkten angebracht denken, und zwar ist ihre Richtung parallel mit *NS*, wie es in der Figur durch Pfeile angedeutet ist. Bezeichnen wir die in *n* angreifende, parallel mit *NS* wirkende Kraft mit *k*, so ist *kl* das statische Moment, mit welchem diese Kraft die eine Nadel in der Richtung des Pfeiles *a* zu drehen strebt, wenn wir mit *l* den Hebelarm *om* bezeichnen. Die Gesammtkraft, mit welcher die Nadel *s* in dieser Richtung gedreht wird, ist $2kl$, weil am anderen Ende der Nadel eine gleiche Kraft, an gleichem Hebelarm angreifend, eine Drehung nach derselben Richtung bewirkt.

Fig 274.



Die Kraft, mit welcher die andere Nadel *n's'* in entgegengesetzter Richtung, also in der Richtung des Pfeils *b* gedreht wird, ist $2kl'$, wenn mit *l'* der Hebelarm *op* bezeichnet wird.

Zwischen den beiden, das System nach entgegengesetzter Richtung drehenden statischen Momenten $2\,kl$ und $2\,kl'$ kann aber natürlich nur dann Gleichgewicht stattfinden, wenn $l = l'$, und dies ist nur dann der Fall, wenn die Nadeln die in Fig. 274 vorgezeichnete Lage haben, d. h. wenn die Linie, welche den in der Wirklichkeit sehr spitzen Winkel der Nadeln halbirt, rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Von dieser Stellung wird die Gleichgewichtslage des Nadelpaars natürlich um so mehr abweichen, je ungleicher der Magnetismus der beiden Nadeln ist.

Die freiwillige Ablenkung hat für den Gebrauch des Multiplicators keinen praktischen Nachtheil. Man folgt der Nadel mit der Nulllinie, bis sie in derselben einsteht, und arbeitet alsdann, als ob sie sich im Meridian befände.

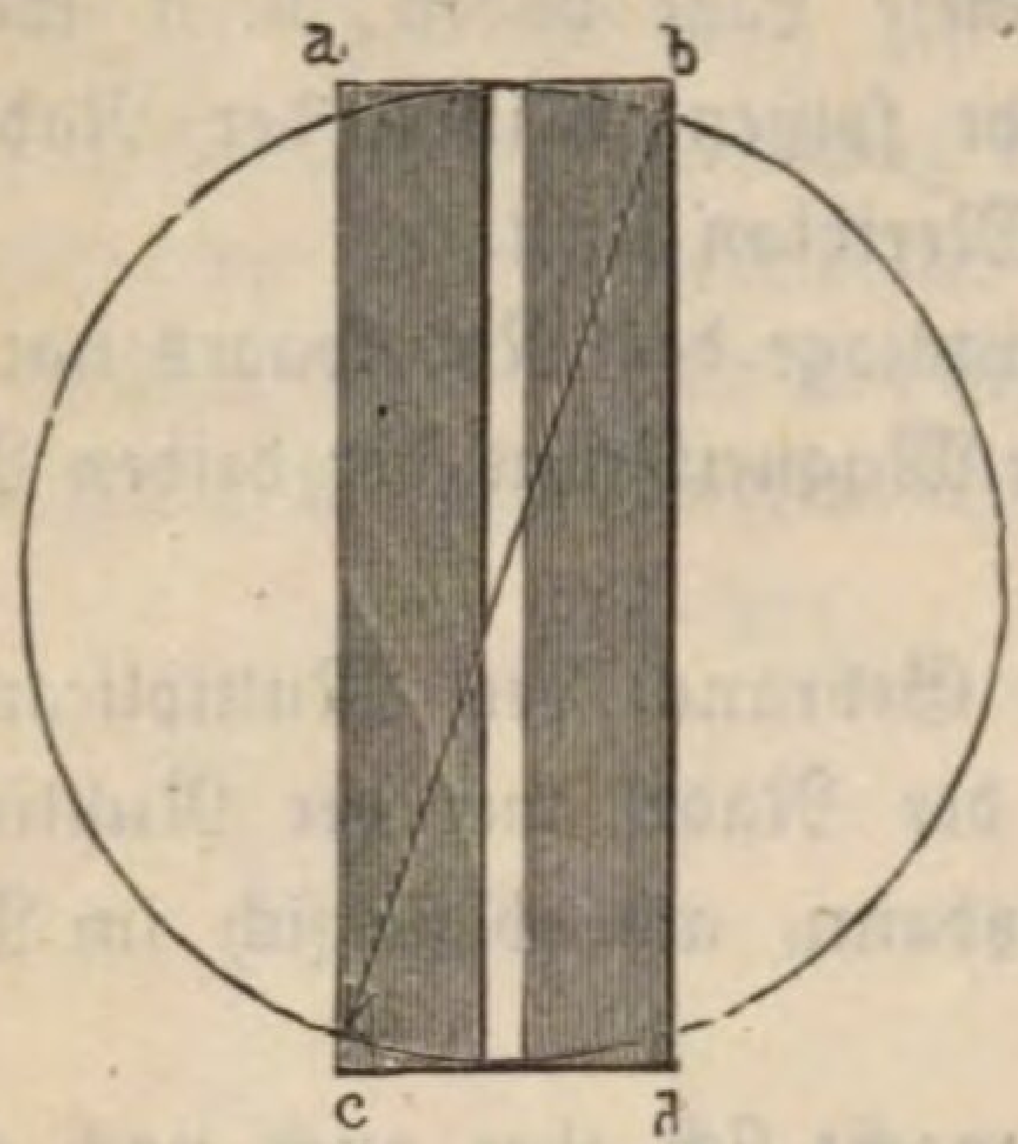
Mit der wachsenden Astasie der Nadeln macht sich aber auch noch eine Ablenkung der Nadeln durch die Drahtmassen geltend, welche die Brauchbarkeit der Instrumente sehr beeinträchtigt. Es hält nämlich sehr schwer, Kupferdraht für die Windungen zu erhalten, welcher absolut unmagnetisch ist. Ganz rein kann man freilich das Kupfer auf galvanischem Wege darstellen, das galvanische Kupfer soll sich aber nicht zu so feinem Drahte ausziehen lassen, wie es zu diesen Multiplicatoren nöthig ist Außerdem ist zu bedenken, daß das Kupfer durch das Ziehen selbst schon etwas mit Eisen verunreinigt wird. Kurz, die Drahtmassen üben immer eine, wenn auch nur sehr geringe Anziehung auf die Nadeln aus.

Diese Anziehung äußert sich im Allgemeinen auf folgende Weise. Bei geringer Schwingungsdauer des Nadelpaars wird keine Störung durch die Drahtmassen fühlbar, die Nadel hält leicht die Nulllinie ein. Bei größerer Astasie bemerkt man meistens zuerst, daß die Stellung der Nadel im Multiplicator nicht mehr völlig mit der außerhalb desselben beobachteten übereinstimmt. Folgt man jetzt der Nadel mit den Windungen, so flieht sie bis zu einer gewissen Lage derselben vor der Nulllinie her, wobei sich der Winkel zwischen ihr und der Nulllinie stets verkleinert; überschreitet man diese Gränze, so schlägt die Nadel plötzlich durch den Nullpunkt durch, und sucht jenseits desselben eine feste Gleichgewichtsstellung. Bei noch mehr steigender Astasie verwickeln sich die Erscheinungen noch mehr.

Betrachten wir zuerst den störenden Einfluß, welchen die Drahtwindungen auf ein absolut astatisches Nadelsystem, also auf ein solches ausüben, welches dem Einfluß des Erdmagnetismus ganz und gar entzogen ist. Ein solches Nadelpaar hat in den Drahtwindungen zwei Stellungen des stabilen Gleichgewichts, es stellt sich in die Richtung der einen oder der anderen Diagonalen der Drahtwindungen, wie dies in Fig. 275, f. f. S., angedeutet ist, in welcher *abcd* die Horizontalprojection der Draht-

windungen ungefähr in den Verhältnissen des Multiplicators darstellt, mit welchem Du Bois arbeitete.

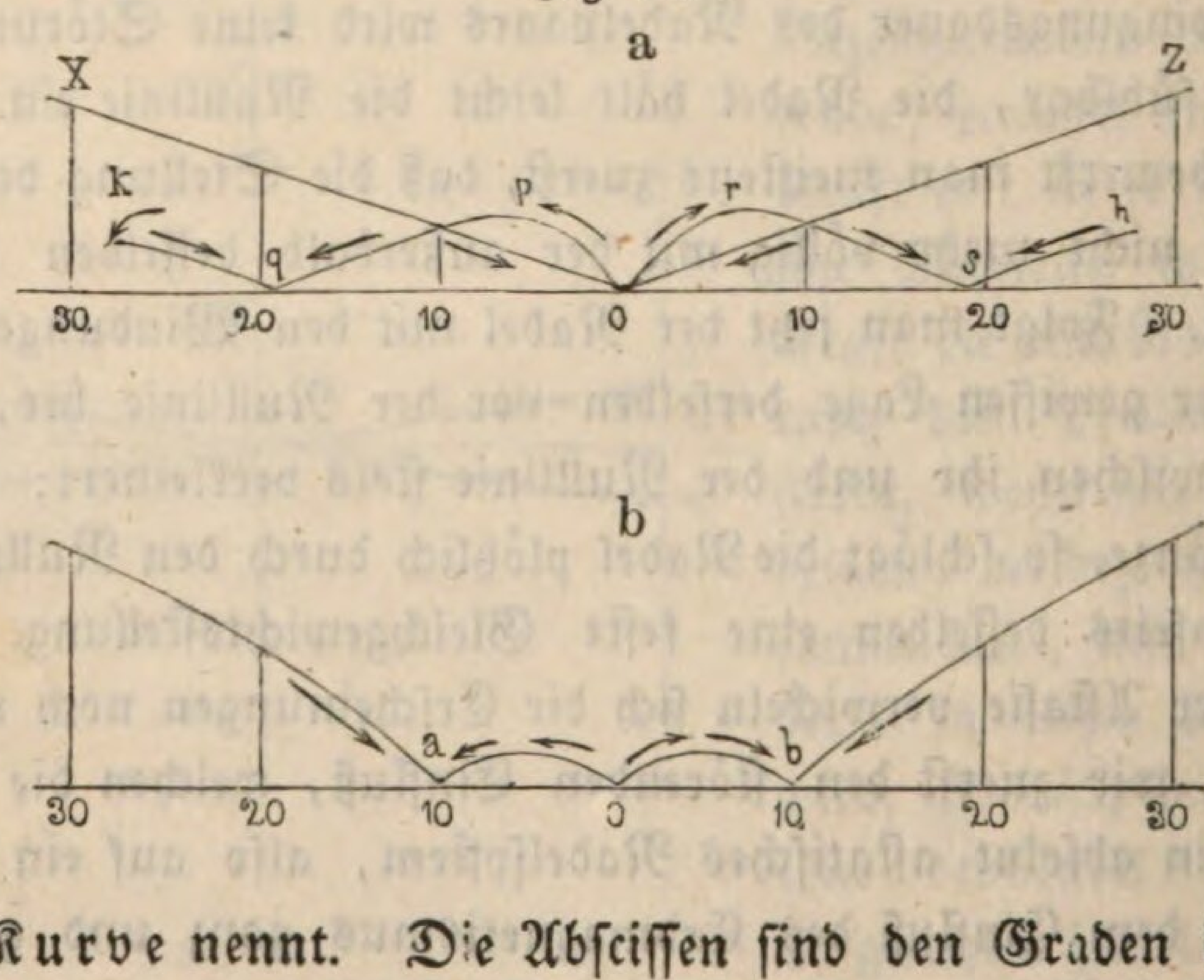
Fig. 275.



Bringt man das absolut astatische Nadelpaar aus der Lage *bc* heraus, und zwar nach der einen oder anderen Seite hin, so wird es durch die magnetische Anziehung der Drahtmassen wieder in die Lage *bc* zurückgeführt. Ueber dem Spalt, welcher die beiden Hälften der Drahtwindungen theilt, befindet sich das Nadelpaar im Zustande des labilen Gleichgewichts, denn bei der allergeringsten Verrückung nach der linken, wird es in die Lage *bc* geführt, während es sich in die Lage *ad* begiebt, wenn die Nadel von dem dem Spalte entsprechenden Punkte nur etwas nach der rechten bewegt wird.

Im Nullpunkt der Theilung ist also die Kraft, mit welcher die Drahtwindungen die Nadel zu drehen streben, gleich Null, d. h. sie wird gleich stark nach der Rechten und nach der Linken gezogen; rechts vom Nullpunkt wird sie nach der Rechten, links von demselben wird sie nach der Linken gezogen. Die Größe der Kraft, mit welcher das Nadelpaar in verschiedenen Punkten der Theilung durch die Drahtmassen afficirt wird, ist in Fig. 276 durch die Kurve *kqporsh* dargestellt, welche Du Bois die

Fig. 276.



störende Kurve nennt. Die Abscissen sind den Graden der Theilung, die Ordinaten sind der Kraft proportional, mit welcher die Nadel afficirt wird. Die Richtung, nach welcher in den entsprechenden Punkten die Nadel gedreht wird, ist durch Pfeile angedeutet, welche der störenden Kurve beigesetzt sind. *o* entspricht dem Nullpunkt der Theilung.

Der Punkt o ist also der Punkt des labilen Gleichgewichtes, die Nadel wird nach beiden Seiten hin von demselben weggezogen; in q und s, welche Punkte bei Du Bois' Multiplicator 19,5^0 rechts und links vom Nullpunkt liegen (vergl. Fig. 275), sind die beiden Punkte des stabilen Gleichgewichts, denn von beiden Seiten her wird die Nadel in diese Lage zurückgetrieben, wenn man sie etwas aus derselben entfernt. Ungefähr in den p und r entsprechenden Punkten ist die Kraft, mit welcher die Nadeln durch die Einwirkung der Drahtmassen gegen die Punkte des stabilen Gleichgewichts hingetrieben wird, ein Maximum.

In Betreff der Art und Weise, wie für jedes Instrument die Gestalt der störenden Kurve auf dem Wege des Versuchs gefunden werden kann, muß ich auf das verweisen, was Du Bois darüber in seinem Werke sagt.

Das Nadelpaar ist aber außer der magnetischen Einwirkung der Drahtmassen, auch noch der magnetischen Erdkraft unterworfen, welche für sich allein dasselbe auf dem Nullpunkt der Theilung zurückzuhalten strebt, und es mit desto größerer Kraft nach demselben zurücktreibt, je weiter man es von demselben entfernt. Im Allgemeinen ist die Kraft, mit welcher die Erdkraft auf das Nadelpaar wirkt, um so geringer, je vollkommner astatisch dasselbe ist. In Fig. 276 stellen die Ordinaten der Kurven xo und zo die Kraft dar, mit welcher die Erdkraft das Nadelpaar an den entsprechenden Theilen der Theilung gegen den Nullpunkt hintreibt. Diese Kurven xo und zo, welche sich auf ein ziemlich gut astatisches Nadelpaar beziehen, schneiden die störende Kurve in zwei Punkten.

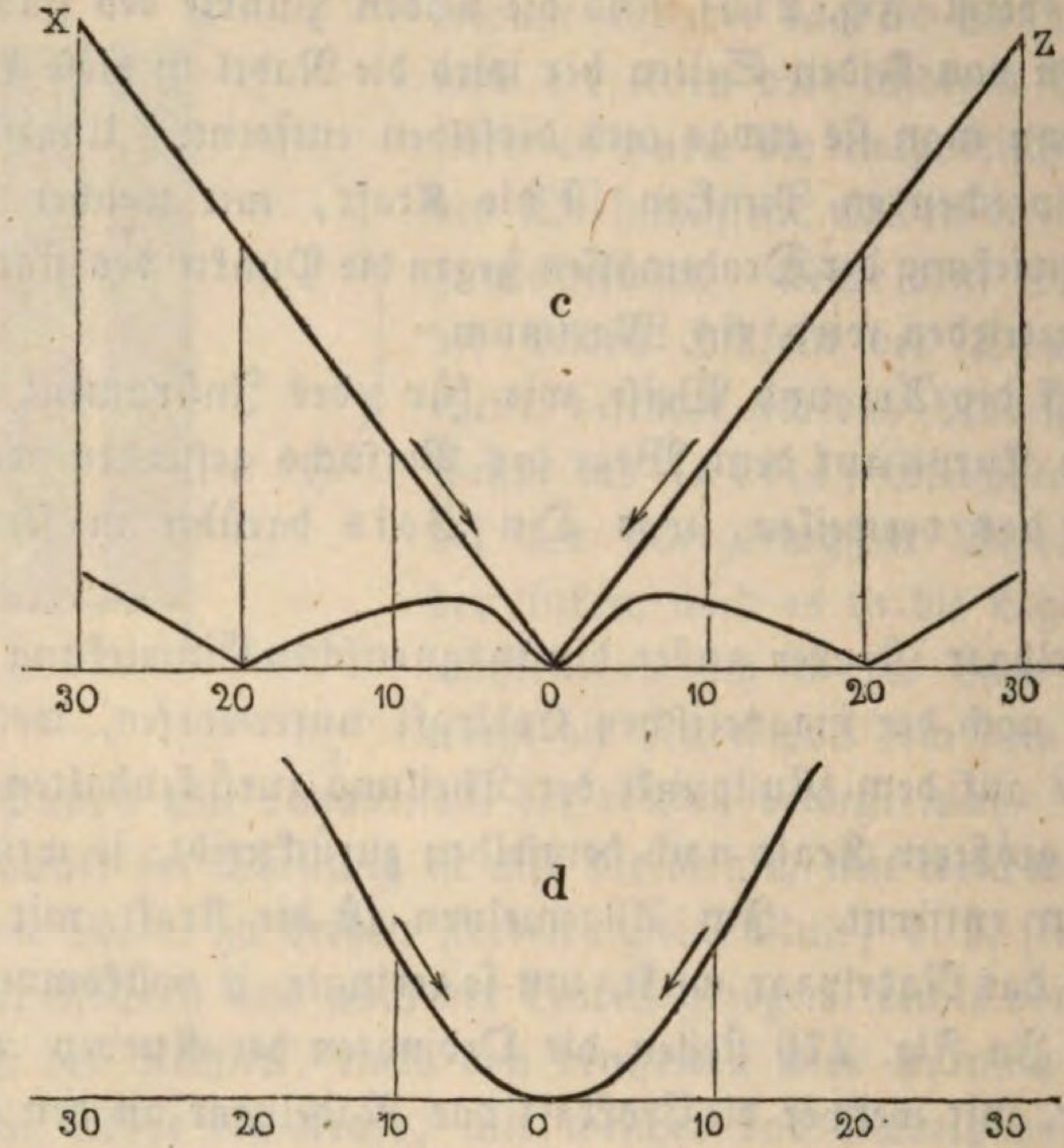
Die Einwirkung, welcher die Nadeln unter dem Einflusse der beiden Kräfte ausgesetzt sind, wird durch die Kurve Fig. 276 b dargestellt, welche durch die Combination der beiden Kurven in Fig. 276 a in der Weise gebildet ist, daß an Stellen der Theilung, wo die beiden Kräfte in gleicher Richtung auf die Nadel wirken, die Summe der beiden Ordinaten aufgetragen ist, hingegen die Differenz derselben an solchen Stellen, wo die beiden Kräfte die Nadeln nach entgegengesetzter Richtung afficiren.

Man sieht, daß auch in diesem Fall bei o nur ein labiles Gleichgewicht stattfindet, daß sich aber auf jeder Seite des Nullpunktes ein Punkt des stabilen Gleichgewichtes befindet, nämlich bei a und bei b.

Ist das Nadelpaar weniger astatisch, so werden die Kurven xo und zo steiler, die Durchschnittspunkte desselben mit der störenden Kurve, also auch die Punkte a und b des stabilen Gleichgewichtes rücken mehr gegen den Nullpunkt hin, bis endlich im Nullpunkt selbst ein stabiles Gleichgewicht stattfindet, Fig. 277 d, f. f. S., so bald nur die Nadeln so wenig astatisch sind, daß die Kurven xo und zo ganz über die störende Kurve fallen, wie in Fig. 277 c, f. f. S.

Wenn man in Folge des störenden Einflusses der Drahtwindungen die Nadel nicht auf dem Nullpunkt der Theilung in ein stabiles Gleichgewicht

Fig. 277.



bringen kann, so ist das Instrument in diesem Zustande wenigstens unbrauchbar; es fragt sich, was man zu thun habe, um den erwähnten störenden Einfluß der Drahtmassen entweder aufzuheben oder wenigstens unschädlich zu machen.

Da sich das durchaus eisenfreie galvanoplastische Kupfer nicht wohl zu so dünnem Drahte ausziehen läßt, wie er zu Multiplicatoren von großem Widerstand erforderlich ist, so gelingt es nicht leicht, Kupferdraht zu erhalten, welcher nicht zu der erwähnten Störung Veranlassung gäbe, wenn der Draht, wie dies gewöhnlich der Fall ist, durch den Spalt, welcher die eine Nadel hindurch läßt, in zwei Hälften getheilt ist, wodurch ein Anziehungsmittelpunkt auf jeder Seite der Nulllinie entsteht. Peclet hat deshalb eine von Poggendorff modificirte Vorrichtung angegeben, durch welche es möglich wird, den Spalt ganz zu vermeiden. Kleiner hat, statt den Spalt mit dem Kupferdraht selbst zuzuwickeln, vorgeschlagen, denselben nachträglich, wenn die Nadeln an ihrer Stelle sind, mit passend zugerichteten Stücken desselben Kupfers auszufüllen, aus welchem die Drähte bestehen.

Durch diese noch in mannichfache Weise zweckmäßig variirten Methoden werden gewissermaßen die Ordinaten der störenden Kurve zu Null gemacht, man hat also nicht nöthig, die Astasie des Nadelpaars zu beschränken.

Schröder fügt ein Paar $1\frac{1}{2}'''$ lange, dünne Eisencylinder horizontal in die mittlere Stäbe des Rahmens ein, welche dazu dienen, die Windungen auseinander zu halten, und verschiebt oder verkleinert diese Eisencylinderchen so lange, bis sie eben ausreichen, um die Nadel in der den Windungen parallele Lage zurückzuhalten (Pogg. Ann. LIV. 60).

Hat man den störenden Einfluß der Drahtmassen nicht an und für sich corrigirt, so bleibt nichts übrig, als die Astasie des Nadelpaars so weit zu vermindern, daß die Kurve xoz zu beiden Seiten von o eben über die störende Kurve zu liegen komme. Da es nun aber höchst schwierig seyn dürfte, beim Magnetisiren der Nadeln gerade den richtigen Grad der Astasie zu treffen, so muß man die Regulirung derselben durch einen sogenannten Berichtigungsstab bewerkstelligen. Nobili schlug zuerst vor, sich eines in einiger Entfernung von dem astatischen System passend angebrachten Magneten zu bedienen, um die Astasie nach Bedürfniß bald zu mäßigen, bald zu erhöhen. Am gründlichsten hat Melloni die Anwendung des Berichtigungsstabes studirt und beschrieben. Stellt man einen Magnetstab in der Verticalebene der beiden Nadeln, wenn sie sich in ihrer Gleichgewichtslage befinden, so auf, daß seine Axe zusammenfällt mit der Wagerechten, welche die senkrechte Entfernung der beiden Nadeln halbirt, so wirkt er mit gleichen aber entgegengesetzten Kräften auf beide Nadeln und die Astasie des Systems bleibt unverändert. Hebt oder senkt man den Stab, so wirkt er beschleunigend oder verzögernd auf die Schwingungen des Nadelpaars; man hat auf diese Weise die Regulirung der Astasie ganz in der Hand. Melloni schlägt für den Berichtigungsstab 200^{mm} Länge und 5^{mm} Durchmesser vor; er befestigt ihn auf einem Statif, welches auf- und niedergestellt werden kann, und welches außerdem vermittelst eines Gelenkes verschiedene Neigungen des Stabes gegen den Horizont zuläßt, und stellt ihn so auf, daß die in der Azimuthebene des Nadelpaars befindliche, gegen den Horizont ungefähr um 45^0 geneigte Stabaxe verlängert, den nächsten Pol des astatischen Nadelpaares treffen würde.

Du Bois, welcher sich bei seinen Versuchen meistens des Berichtigungsstabes bediente, hatte ihn in einem Abstande von 4 Decimetern von der Nadel angebracht.

Um das Durchschlagen der Nadeln zu verhüten, sind gewöhnlich an den 90^0 Punkten des Theilkreises Stiftchen eingesetzt, an welchen die obere Nadel anschlägt, sobald die Ablenkung bis zu 90^0 wächst. Du Bois zeigt nun, daß diese Form der Hemmung unzweckmäßig ist, weil das heftige Anschlagen der Nadeln gegen dieselben theils starke Schwenkungen hervorbringt, theils auch den Magnetismus der Nadeln gefährdet; er

wandte deshalb zu den Hemmungen mehrfache Coconfäden an, welche von dem Aufhängepunkte der Nadel aus durch kleine, in der Theilung angebrachte Oeffnungen zu beiden Seiten des Rahmens herabhingen und unterhalb des Spielraums der unteren Nadel durch ein Stück Platindraht beschwert waren. Die Nadel fängt sich in diesen Hemmungen auf die angemessenste Weise.

Bei einem später construirten Multiplicator wurden diese Fäden durch ganz dünne und also sehr leicht biegsame Glimmerblättchen ersetzt, gegen welche die Nadel anschlägt.

Was die näheren Details über Construction, Behandlung, Aufstellung u. s. w. des Multiplicators betrifft, so muß ich natürlich auf Du Bois' Werk verweisen.

281 **Darstellung des Verfahrens, thierische Theile mittelst des Multiplicators auf Stromentwickelung zu untersuchen.** Nachdem wir nun das Wesentlichste über den zu thierisch elektrischen Versuchen anzuwendenden Multiplicator besprochen haben, kommt es nun darauf an, zu sehen, wie man einen Theil des thierischen Körpers, den man auf Stromerregung prüfen will, zwischen die Enden des Multiplicatordrahtes einzuschalten hat, wie man verfahren muß, um sicher zu seyn, daß der am Multiplicator beobachtete Strom auch wirklich von dem thierischen Körper erzeugt sey und nicht irgend andere elektromotorische Kräfte hier thätig sind.

Die Enden des Multiplicatordrahtes werden in der Regel mit Platinplatten versehen, an welchen der Uebergang des Stroms aus den flüssigen oder feuchten Theilen der Kette in das Drahtgewinde stattfindet. Hier ist es nun vor allen Dingen höchst wichtig, daß die Platinplatten, so weit es nur irgend zu erreichen möglich ist, gleichartig seyen, denn wenn die geringste Verschiedenheit zwischen den beiden Platten stattfindet, so ist diese die Ursache einer Stromentwickelung, sobald man sie zur Schließung der Kette anwendet; es wird ein Strom entstehen, sobald man die Platten z. B. in ein und dasselbe Gefäß mit Wasser eintaucht. Wenn man nun einen thierischen Körpertheil zwischen zwei solche ungleichartige Platinplatten einschaltet, so ist es offenbar zweifelhaft, in wiefern die beobachtete Ablenkung durch den thierischen Elektromotor oder durch die Ungleichartigkeit der Platinplatten bedingt ist.

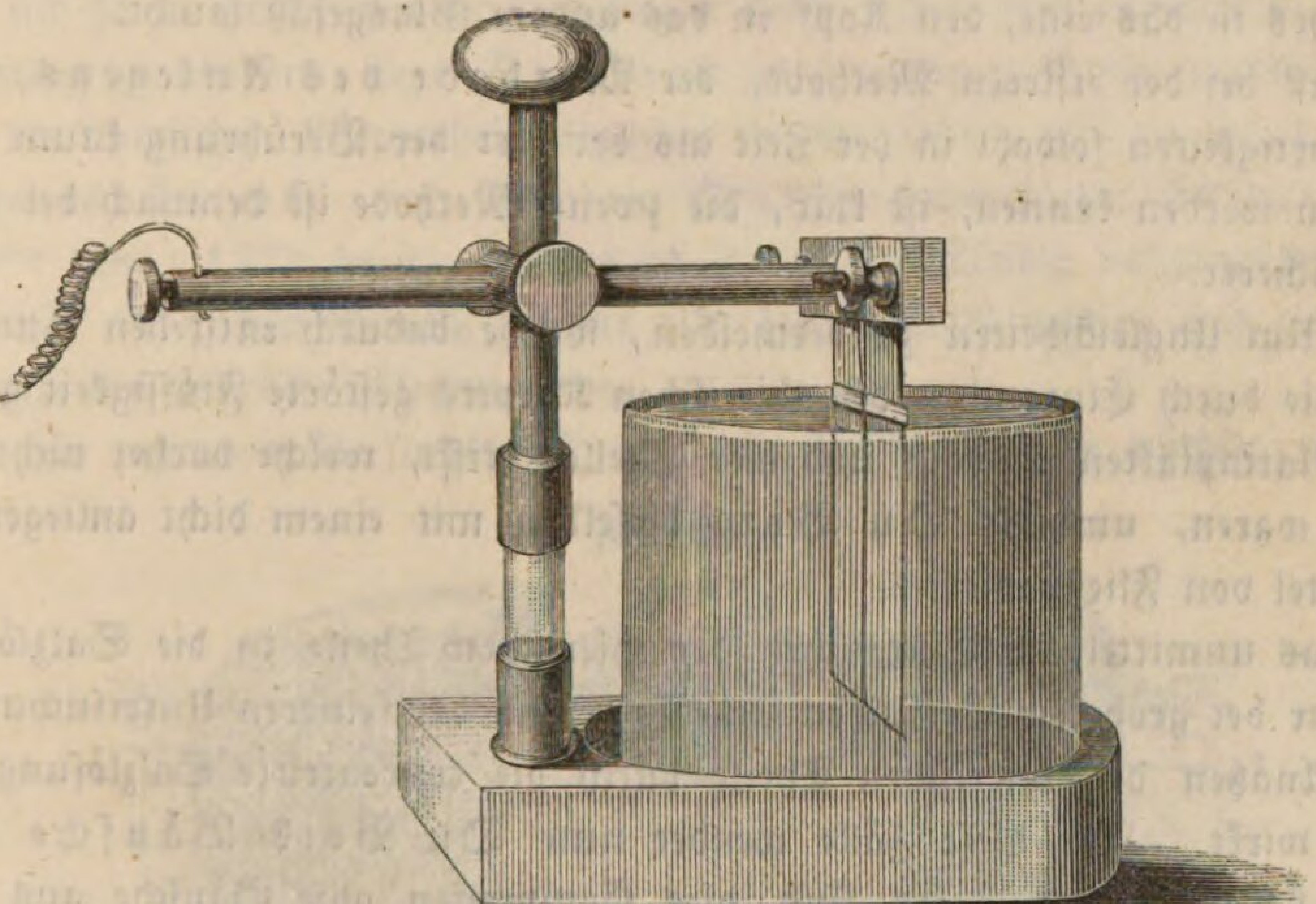
Du Bois reinigt seine Platinplatten, indem er sie der Reihe nach mit Alkohol und Aether, mit Kalihydratlösung und mit Königswasser abwäscht. Zwischen zwei Abwaschungen werden sie mit Wasser abgespült und endlich über einer Weingeistlampe ausgeglüht.

Wenn aber auch die Platinplatten möglichst gleichartig gemacht sind, so entstehen immer noch Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen dersel-

ben in die Flüssigkeit. Fechner hat bereits in seinem klassischen Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie (welches den dritten Band seiner Bearbeitung von Biot's Lehrbuch der Physik bildet) auf Seite 466 u. f. zusammengestellt, was damals über die Ströme bekannt war, welche durch ungleichzeitiges Eintauchen sonst gleichartiger Metalle entstehen. Später hat Schröder noch eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand in Poggendorff's Annalen publicirt (LIV, 57). Höchst wahrscheinlich ist diese Erscheinung einer Gasschicht zuzuschreiben, mit welcher sich die Platten in der Luft bedecken und welche nach dem Eintauchen in die Flüssigkeit alsbald verschwindet. Der in Folge des ungleichzeitigen Eintauchens hervorgerufene Strom verschwindet aber alsbald wieder, sobald nur die Platinplatten, welche die Enden des Multiplicatordrahtes bilden, durch eine homogene Flüssigkeit zur Kette geschlossen bleiben. Man kann aber auch nur so lange von der Gleichartigkeit der Platten überzeugt seyn, als sie unverrückt in der Flüssigkeit stehen bleiben; der Multiplicator muß also durch die Flüssigkeit fortdauernd geschlossen bleiben, was Du Bois in folgender Weise bewerkstelligt:

In ein rundes Glasgefäß, Fig. 278, von 76^{mm} Durchmesser, hängen

Fig. 278.



zwei Platinplatten herab, welche mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes in leitende Verbindung gebracht werden. (Du Bois fand, daß man mit zwei solchen Platten der Ungleichartigkeiten viel eher Herr wird, als wenn jedes Drahtende des Multiplicators nur mit einer Platte versehen ist.) Diese Platten sind in einer Blechklemme gehalten, die sich am Ende eines horizontalen Messingstabes befindet, der an einem verticalen,

durch ein Glassäulchen isolirten Messingstabe auf und nieder, vor- und rückwärts geschoben werden kann. An dem andern Ende des horizontalen Stabes ist der eine Zuleitungsdraht des Multiplicators eingeschraubt.

Dem andern Ende des Multiplicatordrahtes entspricht ein ganz gleiches Zuleitungsgefäß, in welches zwei Platinplatten in derselben Weise herabhängen. Jedes Platinblech ist 65,5^{mm} hoch und 26,5^{mm} breit. Die Zuleitungsgefäße werden mit einer concentrirten Lösung von Kochsalz gefüllt und dann die Schließung der Kette dadurch bewirkt, daß die beiden Glasgefäße durch ein gleichfalls mit concentrirter Kochsalzlösung gefülltes Heberrohr in Verbindung gebracht werden.

Sind nun die Platten auf diese Weise in die Flüssigkeit getaucht, bei geschlossener Kette gleichartig, so handelt es sich nur darum, die Schließung aufzuheben und zwischen ihnen denjenigen Körper einzuschalten, dessen elektromotorisches Verhalten man untersuchen will. Hier kann man zwei Wege einschlagen: entweder man hebt die Platten aus der Flüssigkeit heraus und legt sie an die thierischen Theile an, oder man läßt sie ruhig in der Flüssigkeit und bringt die Verbindung der beiden Gefäße nach Entfernung des Heberrohrs mittelst der thierischen Theile zu Stande, welche geprüft werden sollen, indem man z. B. die Füße des enthäuteten Frosches in das eine, den Kopf in das andere Glasgefäß taucht.

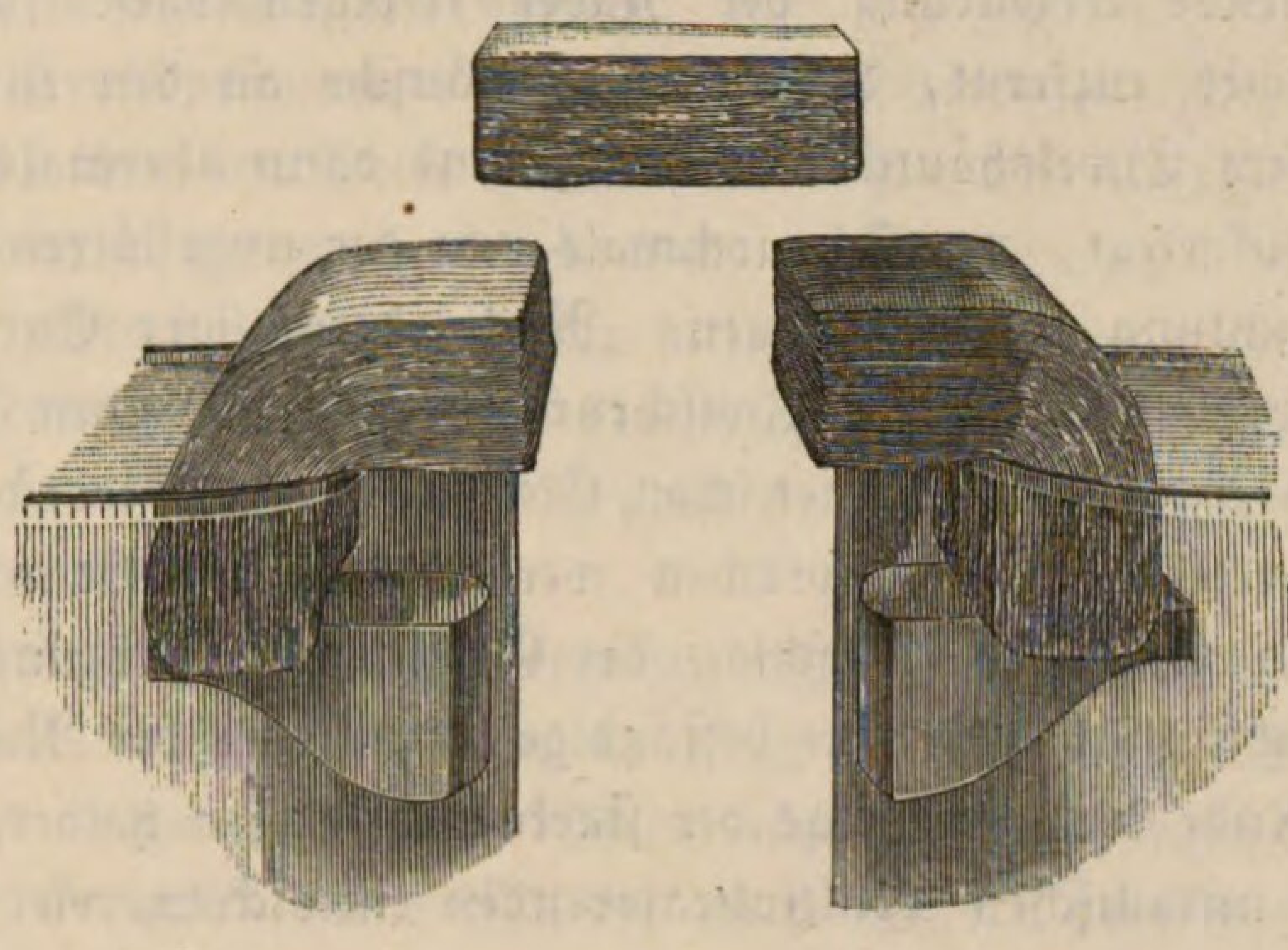
Daß bei der ersteren Methode, der Methode des Anlegens, Ungleichartigkeiten sowohl in der Zeit als der Art der Berührung kaum vermieden werden können, ist klar, die zweite Methode ist demnach bei weitem sicherer.

Um Ungleichheiten zu vermeiden, welche dadurch entstehen könnten, daß die durch Eintauchen des thierischen Körpers gestörte Flüssigkeit gegen die Platinplatten anwogt und hier Stellen trifft, welche vorher nicht benetzt waren, umhüllt Du Bois dieselben mit einem dicht anliegenden Mantel von Fließpapier.

Das unmittelbare Eintauchen der thierischen Theile in die Salzlösung ist nur bei groberen Versuchen zulässig, weil bei feineren Untersuchungen das Anätzen der thierischen Theile durch die concentrirte Salzlösung störend wirkt. Für diese Fälle wendet nun Du Bois Bäusche von Fließpapier an. Es sind dies Compressen oder Bäusche aus sehr vielen Lagen feinen Fließpapiers, welche, mit der gesättigten Salzlösung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefäße aufgelegt werden, wie Fig. 279 zeigt. Sie ruhen, außer auf dem Rande der Gefäße selbst, innerhalb derselben noch auf gefirnißten Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläser angekittet sind. Man kann diese Bäusche die Zuleitungsbäusche nennen. Die Schließung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlösung getränkten Bausch, den Schließungsbausch,

bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäusche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thierischen Körper in die Kette einzuschalten, muß man natürlich erst den Schließungsbausch entfernen. Nun

Fig. 279.



darf man aber die thierischen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäusche legen, weil sonst das erwähnte Anätzen stattfinden würde, welches für sich schon Zuckungen hervorbringen kann. Um diese unmittelbare Berührung zu hindern, legt Du Bois an derjenigen Stelle der Bäusche, wo die thierischen Körpertheile applicirt werden sollen, erst ein sogenanntes Eiweishäutchen auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblase (20^{mm} lang, 13^{mm} breit), welches in Eiweis vollständig aufgeweicht worden ist. Auf den Bausch kommt also das Eiweishäutchen und auf dieses erst der thierische Elektromotor.

Zu manchen Versuchen ist noch ein Zwischenbausch nöthig, welcher

Fig. 280.



zwischen den Bäuschen der Zuleitungsgefäße in der Weise angebracht ist, wie Fig. 280 zeigt.

Allgemeine Erscheinungsweise der thierisch elektrischen Ströme am Multiplicator. Das Schema eines thierisch elektrischen Versuches 282

am Multiplicator ist folgendes: Die Multiplicatornadel wird durch den Berichtigungsstab auf Null gehalten. Die Zuleitungsgefäße mit den Platinplatten sind ohne den Multiplicator zur Kette geschlossen. Jetzt wird der Multiplicator in die Kette aufgenommen, wobei keine oder nur eine unbedeutende Ablenkung der Nadel erfolgen darf. Der Schließungsbausch wird entfernt, die Zuleitungsbäusche an den entsprechenden Stellen mit dem Eiweishäutchen versehen, und dann abermals der Schließungsbausch aufgelegt, um sich nochmals von der ungestörten Gleichartigkeit der Vorrichtung zu überzeugen. Nach abermaliger Entfernung des Schließungsbausches wird der Zwischenraum zwischen den Zuleitungsbäuschen durch Auflegen des thierischen Elektromotors überbrückt, wie dies später noch specieller wird besprochen werden. Die erste nun folgende Nadelbewegung wird als Ausschlag der Größe und Richtung nach verzeichnet. Beabsichtigt man eine beständige Ablenkung der Nadel, so läßt man sie zur Ruhe kommen, was der starken Ladungen halber, die sich sogleich auf den metallischen Multiplicatorenden entwickeln, viel tiefer stattfindet, als man nach dem Ausschlage zu glauben geneigt seyn möchte. Ist die Wahrnehmung vollendet oder sollte keine beständige Ablenkung abgewartet werden, so entferne man rasch den thierischen Elektromotor aus der Kette. Legt man nun den Schließungsbausch wieder auf, so erfolgt ein dem früheren entgegengesetzter Ausschlag.

Er rührt von einem Polarisationsstrome her, denn der thierisch elektrische Strom, welcher die erste Ablenkung bewirkte, muß nothwendig eine Polarisation der Platinplatten zur Folge haben, deren Entladung nun durch einen entgegengesetzt gerichteten Strom stattfindet, wie wir dies schon Seite 351 gesehen haben.

Die Stärke dieses secundären Stromes ist der des primären proportional.

Diese Bedingungen führen keinen wesentlichen Nachtheil mit, ja sie können manchen nicht unerheblichen Dienst leisten. Vor allem stehen sie als sichere Bürgen da, daß die beobachtete Wirkung in der That von dem eben entfernten Elektromotor herrührte; unverhältnißmäßig starke oder unerwartet schwache Ladungen weisen auf irgend etwas hin, was nicht in der Ordnung ist.

Eine gewöhnliche Art, sich von der Aechtheit der beim Auflegen eines Elektromotors beobachteten Wirkung zu überzeugen, besteht auch darin, denselben später umzulegen, d. h. in verkehrter Richtung aufzulegen; die Wirkung muß alsdann gleichfalls ihre Zeichen ändern. — Man kann sich aber zugleich des Umlegens und des Ausschlages der Ladungen bedienen, um sehr schwache Ströme deutlicher sichtbar zu machen, indem man nämlich das Umlegen ausführt, ohne vorher die Ladungen auszugleichen

oder ihnen Zeit zu lassen, bei ungeschlossener Kette sich zu schwächen. Alsdann summiren sich die Wirkungen des primären und secundären Stromes auf die Nadel zu einem viel größerrn Ausschlage, als der erste war.

Das physiologische Rheoskop. Daß das physiologische Rheoskop in 283
Gestalt des Froschpräparates mit dem Multiplicator wetteifere, so daß noch Nobili ihm den Preis zugestehen mußte, ist bereits erwähnt worden; gegenwärtig hat man es jedoch in der Construction der Multiplicatoren soweit gebracht, daß man ihm diesen Vorrang nicht mehr zugestehen kann. Dessenungeachtet ist das physiologische Rheoskop besonders geeignet, in manchen Fällen wichtige Dienste zu leisten, wir müssen es deshalb auch näher betrachten.

Das physiologische Rheoskop erreicht erst dadurch den hohen Grad von Empfindlichkeit, daß der Strom in einer Strecke seiner Bahn auf den Nerven allein angewiesen sey. Man empfiehlt gewöhnlich, um sich des Frosches als stromprüfenden Mittels zu bedienen, denselben nach Galvani's bekannter Vorschrift zuzubereiten. Du Bois kann diesem Präparate nur noch einen geschichtlichen Werth beilegen. Um das Froschpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, sich ein möglichst langes Ende Nerv freiliegend zu verschaffen; dies ist bei dem stromprüfenden Froschschenkel der Fall, welcher Fig. 281 abge-

Fig. 281.



bildet ist. Er besteht aus einem bloßen Unterschenkel vom Frosch, an welchem der ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist.

Eine wichtige Vorsichtsmaßregel besteht darin, den stromprüfenden Schenkel bis auf die in den zu untersuchenden Kreis eingeschaltete Nervenstrecke sorgfältig isolirt zu halten, damit man sicher sey, daß weder der eigene Strom des Schenkels, noch sonst ein anderer Strom, als derjenige, dessen Wirkung man eben beobachten will, seinen Weg durch den Nerven nehme.

Auf thierisch elektrische Versuche angewandt, bietet das physiologische Rheoskop zunächst den Vortheil dar, daß es das einzige ist, dessen Anzeigen ohne Einschaltung von Metallen in den Kreis gewonnen werden können. Damit fallen die großen Schwierigkeiten weg, mit denen die Her-

stellung gleichartiger Metallflächen verknüpft ist, dagegen ist das physiologische Rheoskop mit mannichfachen Mängeln behaftet. Es entbehrt zunächst aller Gleichmäßigkeit der Angaben, indem die Reizbarkeit nicht allein bei verschiedenen Froschindividuen sehr ungleich ist, sondern auch mit der Jahreszeit variirt und nach dem Tode rasch abnimmt. Das Froschpräparat antwortet durch Zuckung nur auf den Anfang und das Ende des Stroms, so daß es zweifelhaft bleibt, ob man mit einem stetigen Strom oder nur mit einer augenblicklichen Entladung zu thun habe. Endlich läßt sich aus den Zuckungserscheinungen unter günstigen Umständen zwar ein Schluß auf die Stromesrichtung ziehen, wie wir alsbald sehen werden, allein diese Anzeigen sind doch ziemlich unsicher.

284 **Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom.** Es ist bereits bemerkt worden, daß der stromprüfende Froschschenkel nur auf das Eintreten und Aufhören des Stroms oder, allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen in der Stromstärke antwortet, sich aber während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes ruhig verhält. Dies hat nun Du Bois in präciser Fassung als oberstes Gesetz der elektrischen Reizversuche in folgender Weise ausgesprochen.

Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum andern, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Bewegungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.

Ich will versuchen, dieses so wichtige Gesetz durch einige graphische Darstellungen zu erläutern und anschaulich zu machen. Jede der folgenden Figuren zerfällt in zwei Abtheilungen; die untere Kurve stellt das Gesetz dar, nach welchem sich die Stromstärke mit der Zeit ändert, und zwar sind die Abscissen der Zeit, die Ordinaten der Stromstärke, d. h. der Stromdichtigkeit, proportional, welche in dem entsprechenden Augenblick die Kette durchläuft. So sehen wir in Fig. 282 die Stromstärke sehr rasch bis zu einer bestimmten Größe wachsen, welche dann constant bleibt, wie man daraus ersieht, daß die untere Kurve nach raschem Steigen horizontal fortläuft. In Fig. 283 sieht man die Stromstärke von Null bis zu derselben Größe wie Fig. 282, nur etwas langsamer ansteigen.

Die oberen Kurven stellen nun die den unteren entsprechende Zuckungswirkung dar. Diese hängt von der Steilheit der unteren Kurve ab; da wir das Gesetz dieser Abhängigkeit noch nicht kennen, so muß man, um die Zuckungskurven construiren zu können, hier irgend eine Annahme machen

und zwar wollen wir die Zuckungswirkung einfach als proportional der

Fig. 282.

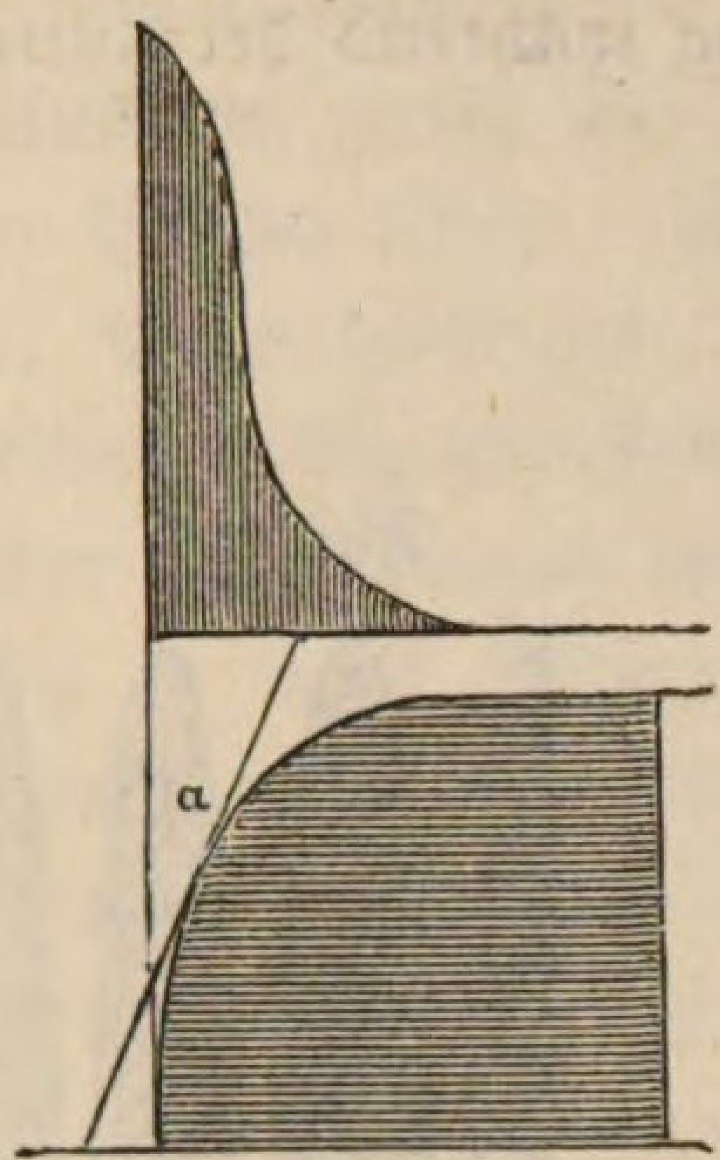
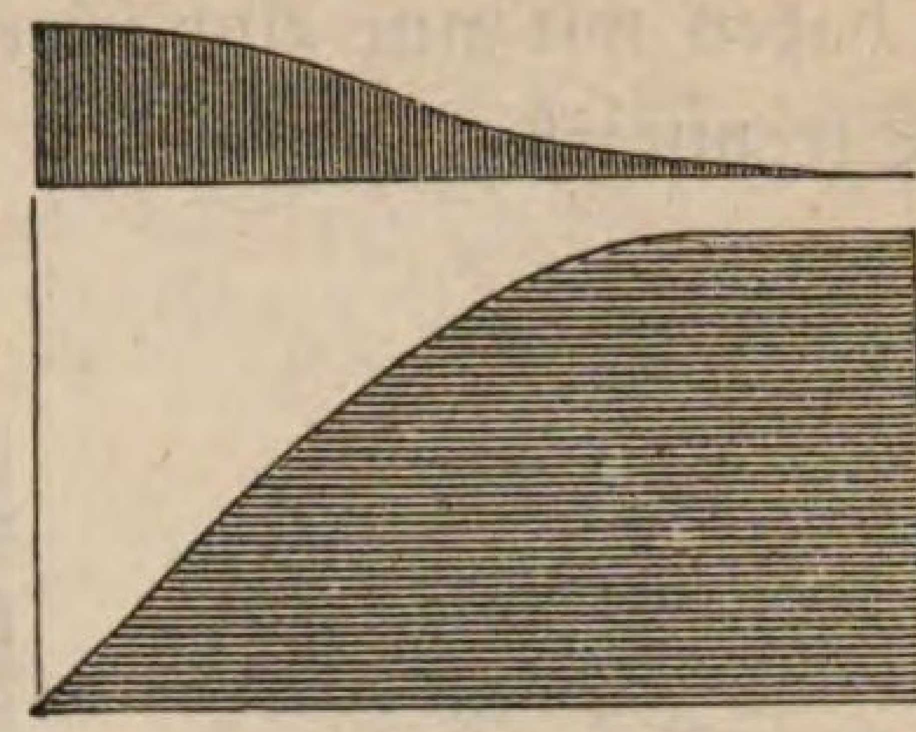


Fig. 283.

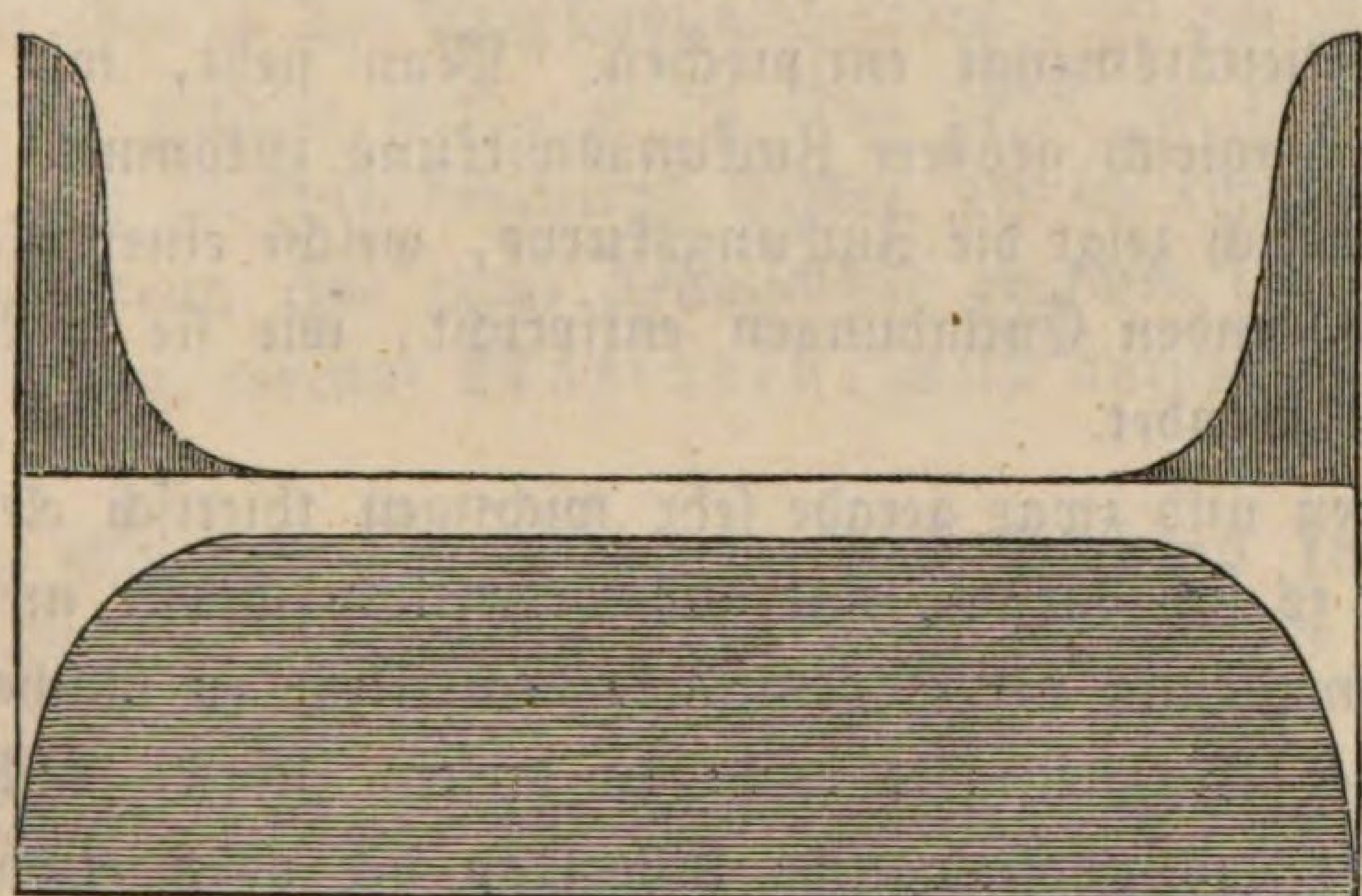


Steilheit der Kurve annehmen, welche die Variationen der Stromstärke ausdrückt. Denken wir uns in irgend einem Punkte *a* der Dichtigkeitskurve eine Tangente an dieselbe gezogen, so wird diese einen Winkel mit der Abscissenaxe machen. Die entsprechende Ordinate der Zuckungskurve ist nun stets der trigonometrischen Tangente dieses Winkels proportional aufgetragen und nach diesem Princip sind dann die sämmtlichen Zuckungskurven construirt.

Vergleicht man die Fig. 282 mit Fig. 283, so sieht man, wie der größeren Steilheit der Dichtigkeitskurve, d. h. dem rascheren Wachsen der Stromstärke, die stärkere Zuckungswirkung entspricht. Von dem Moment an, wo die Stromstärke constant bleibt, ist die Zuckungswirkung gleich Null.

In Fig. 284 sehen wir, wie die Stromstärke von Null bis zu einer

Fig. 284.



bestimmten Größe wächst, dann eine Zeit lang constant bleibt, um alsbald wieder auf Null herabzusinken, wenn der Strom unterbrochen wird. Die Zuckungskurve zeigt uns den Schließungsschlag und den Trennungsschlag, während keine physiologische Wirkung erfolgt, so lange die Stromstärke unverändert bleibt.

In Fig. 285 zeigt uns die Dichtigkeitskurve einen starken Strom, welcher eine Zeit lang unverändert fortdauert, um dann etwas anzuwachsen; hier haben wir nur eine schwache Zuckungswirkung während der Zunahme an Stromstärke.

Fig. 285.

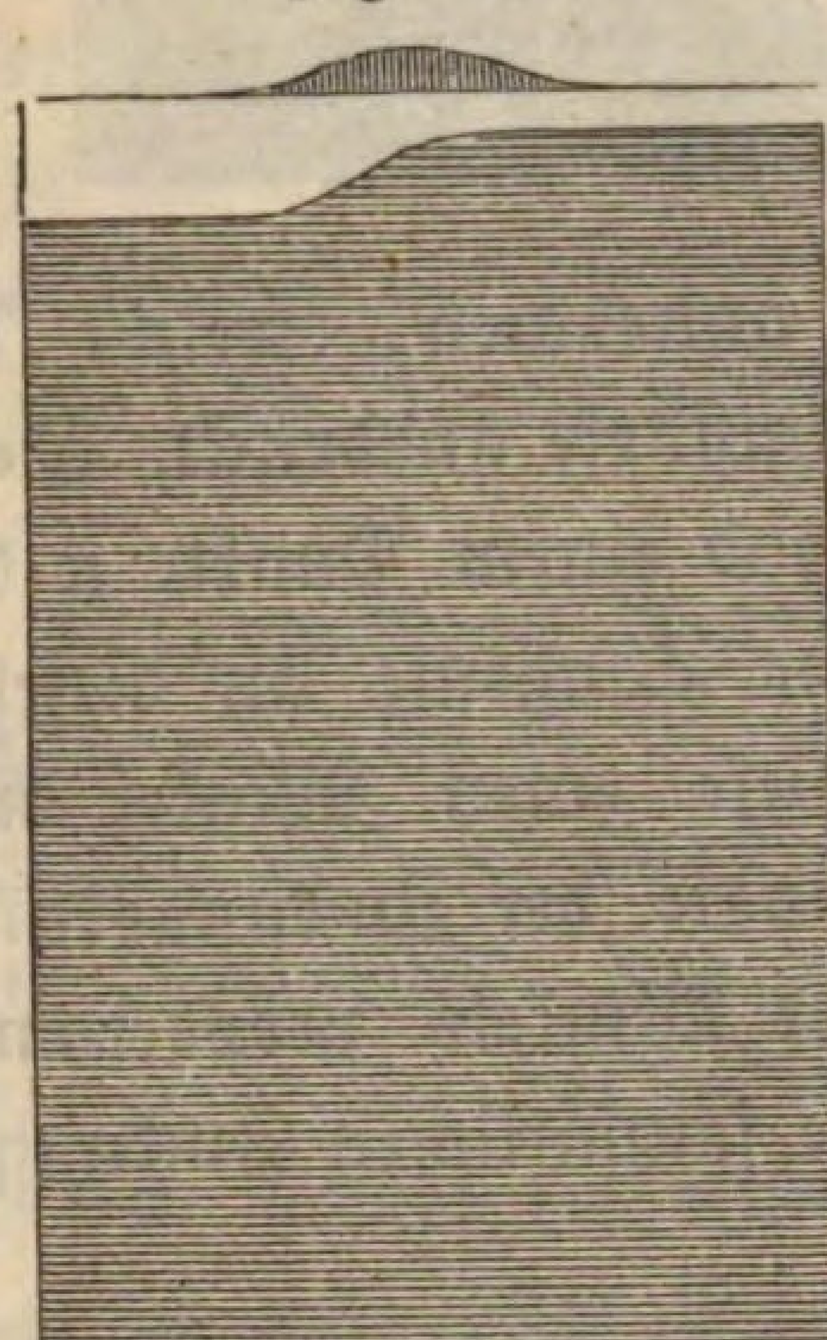


Fig. 286.

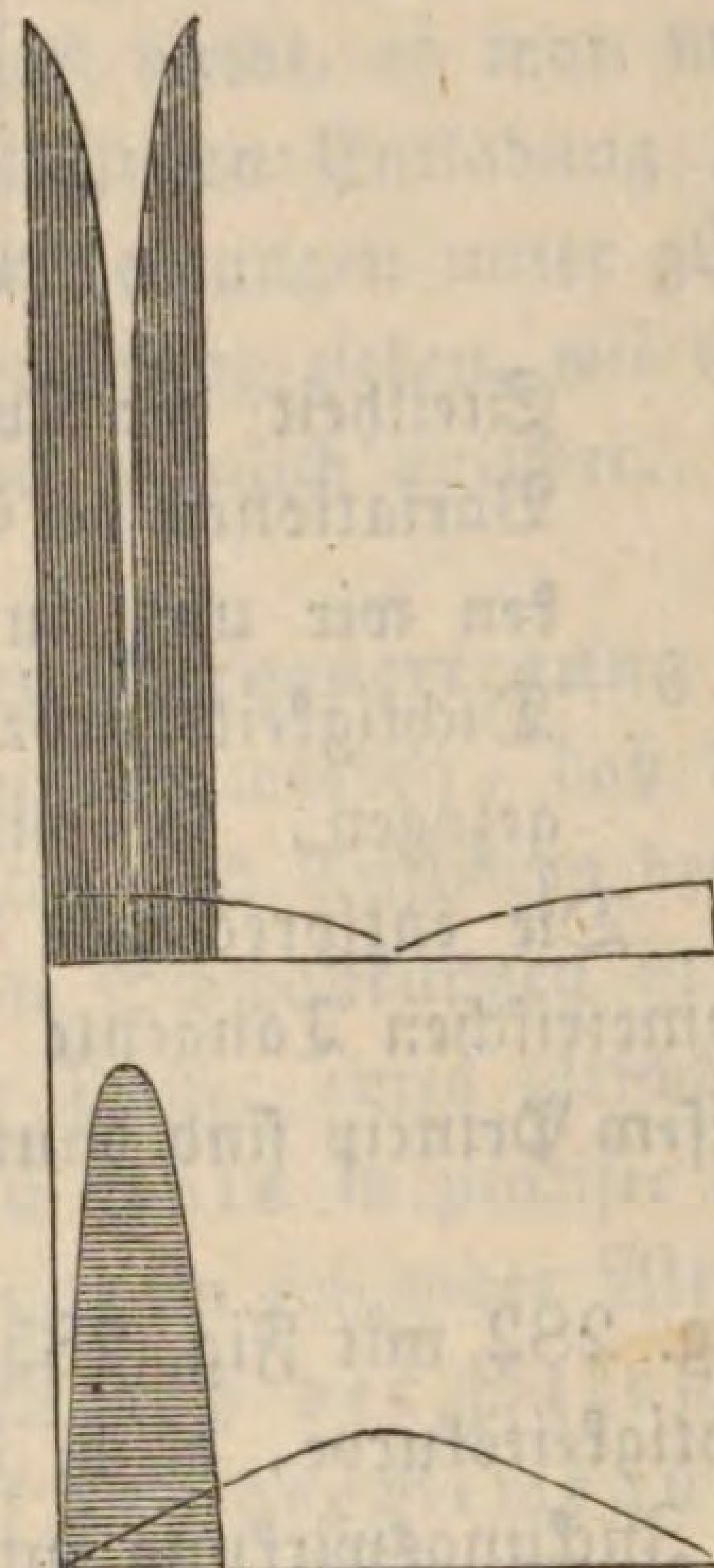


Fig 287.

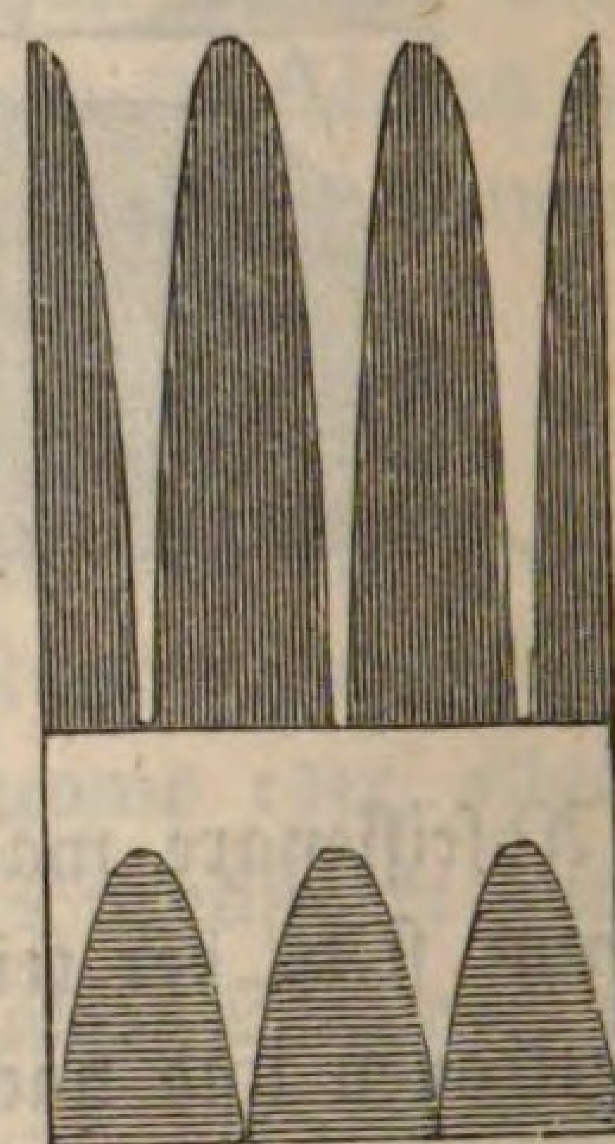


Fig. 286 zeigt uns zwei Dichtigkeits- und zwei entsprechende Zuckungskurven, welche der Entladung (etwa einer Flaschenentladung) einer und derselben Elektricitätsmenge entsprechen. Man sieht, wie der rascheren Entladung die ungleich größere Zuckungswirkung zukommt.

Fig. 287 endlich zeigt die Zuckungskurve, welche einer Reihe von rasch auf einander folgenden Entladungen entspricht, wie sie z. B. bei Inductionsströmen stattfindet.

Bei mehreren und zwar gerade sehr wichtigen thierisch elektrischen Versuchen handelt es sich darum, eine außerordentlich schnelle mehr oder weniger große Schwankung der Stromstärke bemerklich zu machen. Die Beweglichkeit einer Magnetnadel reicht zu diesem Zwecke nicht mehr aus, während gerade das physiologische Rheoskop der oben erwähnten Eigenthümlichkeit wegen in solchen Fällen treffliche Dienste leistet, wie wir später noch in speciellen Fällen sehen werden.

Nach diesen Erörterungen wird es wohl nicht zweifelhaft seyn, was für ein Urtheil man über diejenigen Untersuchungen Matteucci's zu fällen hat, welche er in einem Aufsatz: »Mesure sur la force nerveuse développée par le courant électrique« (Annales de Chimie et de Physique

III. Sér. T. XI. pag. 403) veröffentlicht hat und deren Zweck es ist, eine Beziehung zu ermitteln zwischen dem Zinkverbrauch, der zur Hervorbringung eines Stromes nöthig ist, und der mechanischen Wirkung, welche die Zuckung eines Froschschenkels hervorbringt, durch dessen Nerven man jenen Strom leitet. Die Idee, welche diesen Untersuchungen zu Grunde liegt, ist so durchaus falsch, daß ein weiteres Eingehen in die Ergebnisse derselben völlig überflüssig ist.

Vor allen Dingen muß nun bemerkt werden, daß das eben ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der auf Schwankungen der Dichtigkeitskurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Größe fähig.

Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schließen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt ist der heftig stechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt.

Eben so anhaltend ist der elektrische Geschmack.

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta nur den Schließungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben, Ritter hat aber schon mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelst Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein continuirliches Geräusch u. s. w.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fortdauernde Strom gefühlt wird, so ist doch selbst bei diesen die Wirkung beim Schluß und Oeffnen bedeutend stärker, als die continuirliche.

So zeigt sich denn eine große Aehnlichkeit zwischen der Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerst aufmerksam gemacht hat.

Von dem Einfluß der Richtung des Stroms in den Nerven auf die Größe der Erregung. 285 An frisch präparirten Froschschenkeln, welche noch einen hohen Grad von Erregbarkeit besitzen, beobachtet man eine kräftige Oeffnungs- und Schließungszuckung, mag nun die Richtung des Stromes die aufsteigende oder die absteigende seyn. Nimmt aber die Erregbarkeit ab, so sieht man je nach der Strömungsrichtung bald die Oeffnungs-, bald die Schließungszuckung schwächer werden oder ganz verschwinden, während sie bei der entgegengesetzten Stromrichtung noch vorhanden ist. Du Bois hat dies Gesetz der Zuckungen folgendermaßen formulirt.

»Man findet in den meisten Fällen und auf der mittle-»ren Stufe der Erregbarkeit, daß, je nach der Richtung, in »welcher der Nerv durchflossen wird, bald die Schließungs- »und bald die Oeffnungszuckung stärker ausfällt, ja daß »nur die eine und die andere garnicht zum Vorschein kommt. »Die stärkere Schließungszuckung gehört dem Strome »an, der vom Ursprunge der Nerven nach ihrer Ausbrei-»tung gerichtet ist, die stärkere Oeffnungszuckung dem ent-»gegengesetzt kreisenden.«

Die einfachste Art, diese Erscheinung zu zeigen, ist folgende: Man hängt das Galvani'sche Präparat auf, wie Fig. 288 zeigt, und läßt jeden Fuß in ein mit Wasser gefülltes Gefäß herabhängen. Jedoch müssen, was in der Figur nicht richtig dargestellt ist, die beiden Beine vollständig von einander getrennt seyn, so daß jedes Bein nur an seinem Nerven hängt und der Strom nicht von einem Bein in das andere gelangen kann, ohne in dem einen Nerven auf-, im andern abzusteigen. In diese Gefäße werden die Poldrähte einer Galvani'schen Kette, etwa eines Bunsen'schen Elementes, eingetaucht. Durch Herausnehmen und wieder Einstecken des einen dieser Drähte aus dem Gefäß kann man nach Belieben die Kette öffnen und schließen. Hat die Empfindlichkeit des Präparats bis zu dem entsprechenden Grade abgenommen, so sieht man beim Schließen nur das eine, beim Oeffnen nur das andere Bein zucken.

Denjenigen Strom, welcher von dem Ursprunge gegen die Ausbreitung der Nerven hin gerichtet ist, kann man kurz den absteigenden nennen, während man als aufsteigenden Strom denjenigen bezeichnet, welcher sich im Nerv von der Ausbreitung gegen den Ursprung hin bewegt.

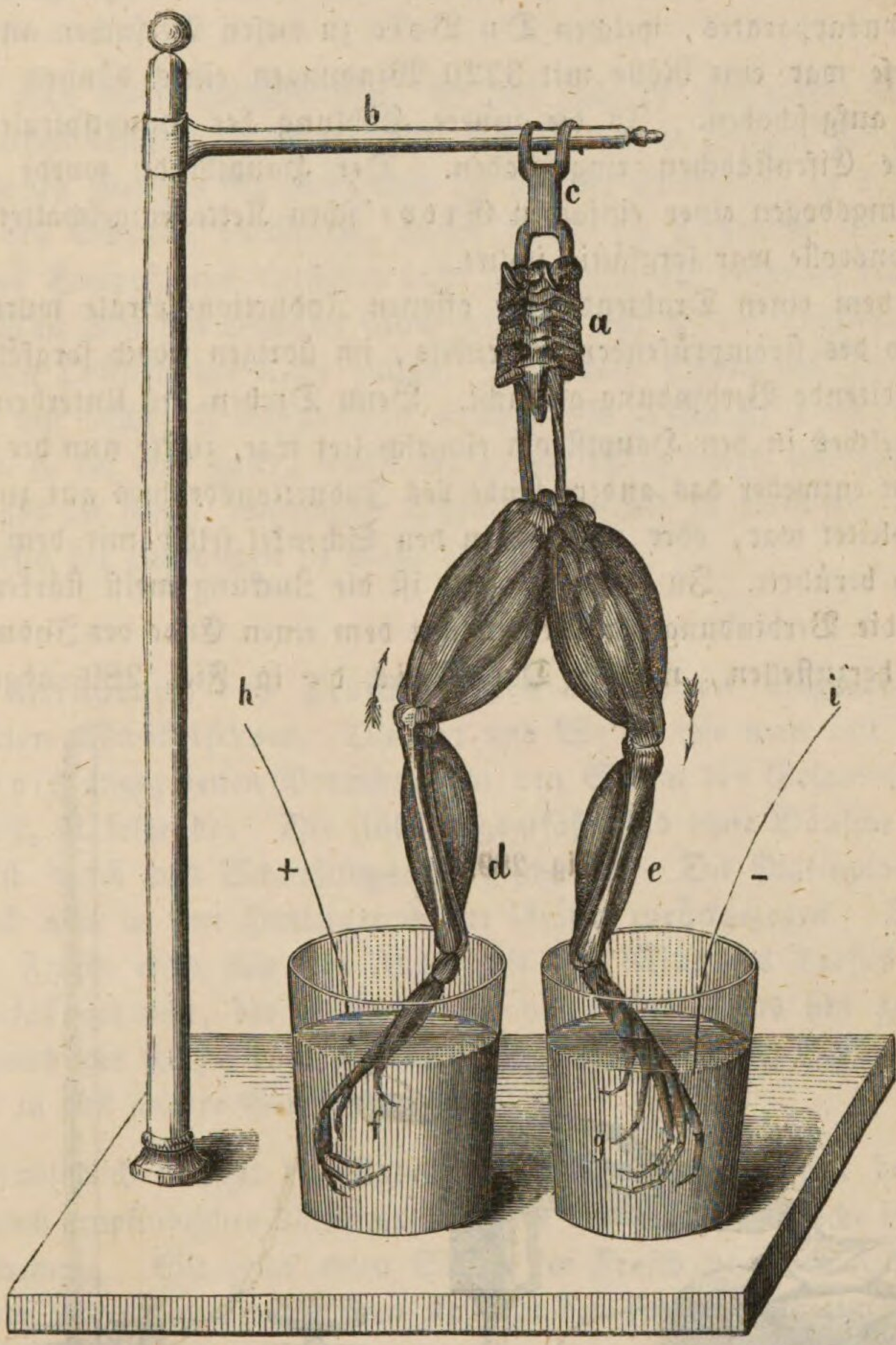
Nach diesem Gesetze kann man die Richtung eines Stromes ermitteln. Wenn der Schenkel beim Schließen zuckt und nicht beim Oeffnen, so hat man mit einem absteigenden Strome zu thun. Bringt man nun den Nerven in entgegengesetzter Richtung in die Kette, so muß der Schenkel jetzt beim Schließen vergleichsweise ruhig bleiben, und zucken, wenn die Kette geöffnet wird.

Die Angaben über Stromesrichtung durch Zuckungen sind jedoch keineswegs so sicher und präcis, wie diejenigen des Multiplicators, indem häufige Unregelmäßigkeiten vorkommen.

Die erste mit dem eben erwähnten Zuckungsgesetz in Beziehung stehende Beobachtung wurde schon von Volta gemacht und zwar zu einer Zeit, wo er sich noch zur Galvani'schen Ansicht über die Ursache der Zuckung des Froschschenkels bekannte. Wie wir bereits Seite 772 gesehen haben,

hat er aber den wahren Zusammenhang seiner Beobachtung noch nicht erkannt, sondern ihm eine unrichtige Deutung gegeben.

Fig. 288.



Als der eigentliche Entdecker der hier in Rede stehenden Gruppe von Thatsachen ist Pfaff zu nennen, der bereits in den Jahren 1793—1795 eine ausführliche und tiefgehende Darstellung derselben gab. Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand stellten Ritter, Marianini, Nobili, Matteucci und Andere an. Du Bois berichtet sehr ausführlich über diese Arbeiten, er selbst hat über diesen Gegenstand noch keine experimentellen Untersuchungen angestellt.

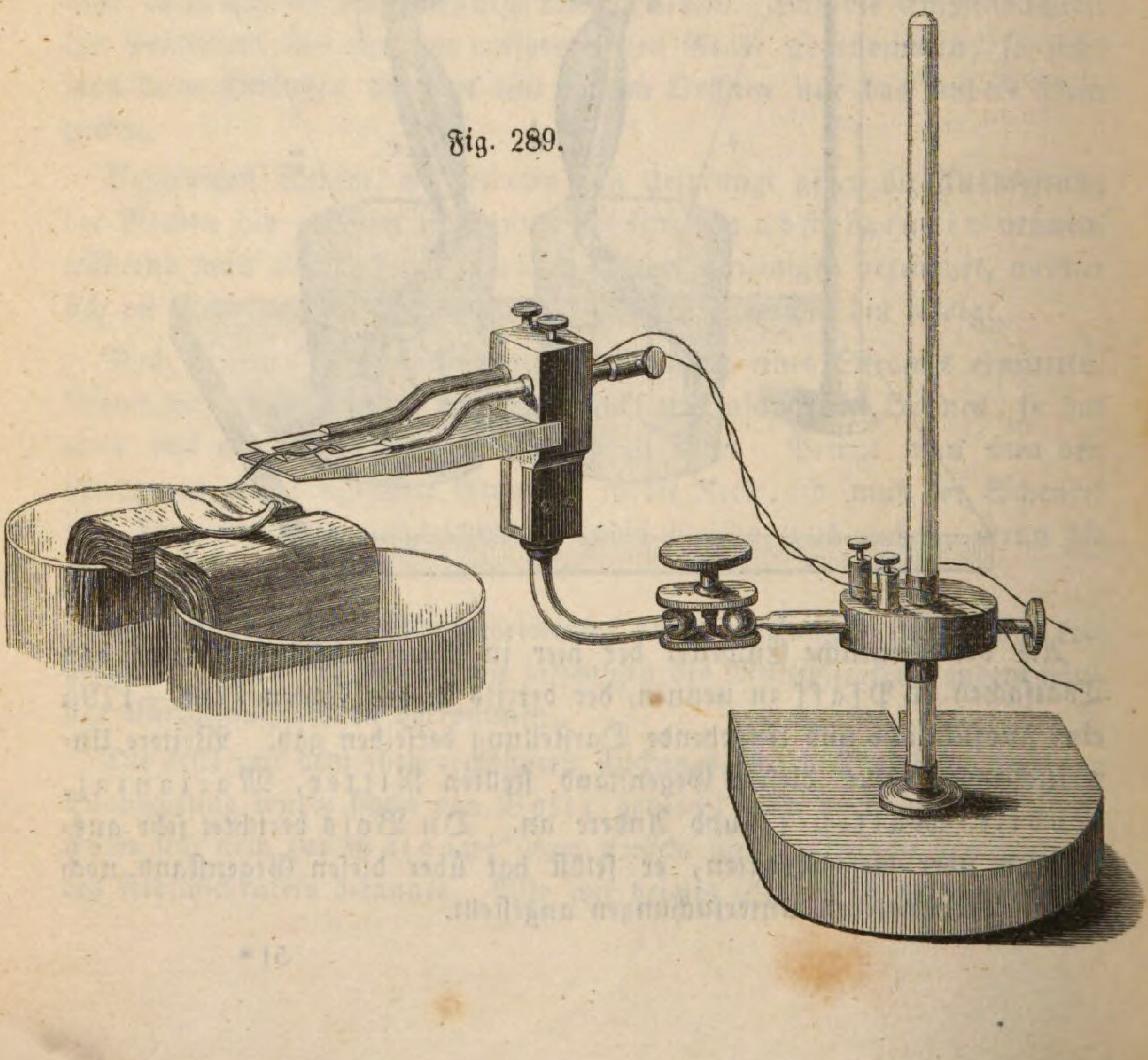
286 **Unipolare Inductionszuckungen.** Es ist dieser Erscheinung bereits früher Erwähnung geschehen, wir wollen sie jetzt näher kennen lernen.

Ein 2mm dicker Kupferdraht, welcher in 32 Windungen auf eine Pappröhre von 65mm Durchmesser gewunden war, bildete den Hauptdraht des Inductionsapparates, welchen Du Bois zu diesen Versuchen anwandte. Auf diese war eine Rolle mit 3220 Windungen eines dünnen Kupferdrahtes aufgeschoben. In die innere Höhlung der Hauptspirale waren gefirnißte Eisenstäbchen eingeschoben. Der Hauptdraht wurde in den Schließungsbogen einer einfachen Grove'schen Kette eingeschaltet. Die Inductionsrolle war sorgfältig isolirt.

Mit dem einen Drahtende der offenen Inductionsspirale wurde nun der Nerv des stromprüfenden Schenkels, im übrigen jedoch sorgfältig isolirt, in leitende Verbindung gebracht. Beim Drehen des Unterbrechungsrades, welches in den Hauptstrom eingeschaltet war, zuckte nun der Schenkel, wenn entweder das andere Ende des Inductionsdrahtes gut zum Boden abgeleitet war, oder wenn man den Schenkel selbst mit dem Finger ableitend berührte. In letzterem Falle ist die Zuckung meist stärker.

Um die Verbindung der Nerven mit dem einen Ende des Inductionsdrahtes herzustellen, wandte Du Bois die in Fig. 289 abgebildete

Fig. 289.



Vorrichtung an, die wir später noch genauer werden kennen lernen. Das ganze Statif stand auf einer wohl isolirenden Unterlage. Der Nerv des stromprüfenden Schenkels war auf eines der Platinschäuselchen aufgelegt, welche die Figur zeigt, während das andere zurückgezogen war.

Hat man einen Froschschenkel, der sich auf der geeigneten Stufe der Erregbarkeit befindet, so ist es leicht, mittelst des im vorigen Paragraphen besprochenen Gesetzes der Zuckungen die Art der Elektricität zu bestimmen, welche den Schenkel durchfließt, wobei jedoch die Oeffnung und Schließung des Hauptstroms natürlich nicht allzu rasch auf einander folgen dürfen. Man sieht den Schenkel dann entweder nur bei der Schließung oder nur beim Oeffnen der Kette zucken. Sind beide Enden des Inductionsdrahtes mit solchen Froschschenkeln versehen, so zucken sie complementär, d. h. der eine zuckt, wenn der andere ruhig bleibt, und umgekehrt. Dabei gilt die Regel, denjenigen Schenkel ableitend zu berühren, der nach dem Gesetz der Zuckungen in Ruhe bleiben soll.

Zurückführung des Froschstromes auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom. Die Art und Weise, wie man mit den von Du Bois angegebenen Vorrichtungen den Strom des Gesammtfrosches nachweist, ist folgende: Die Zuleitungsgefäße sind ohne Bäusche und die Kette ist durch das Schließungsrohr geschlossen. Die Platinplatten sind möglichst weit in den Hintergrund der Gläser zurückgezogen. Der enthäutete Frosch wird mit den Füßen bis zur Mitte des Tarsus in das eine Gefäß getaucht, der Rücken gegen das andere Glas hin gewendet; dann wird der Frosch rücklings mit dem Gesicht und der Nasenspitze behutsam in das andere Gefäß gebracht. 287

Augenblicklich verläßt die Nadel den Nullpunkt und fliegt bei einem hinlänglich empfindlichen Multiplicator, wie der Du Bois'sche ist, gegen die Hemmung. Sie zeigt einen Strom im Frosch von den Füßen zum Kopf, im Multiplicatordraht vom Kopf zu den Füßen, also einen aufsteigenden Strom.

Die Nadel kommt alsbald zwischen 10 und 20° zur Ruhe. Von hier an nimmt die Ablenkung langsam ab und hält sich stunden-, ja tagelang innerhalb der ersten 5—8°.

Wird der Frosch entfernt und statt dessen das Schließungsrohr eingesetzt, so fliegt aus bekannten Gründen die Nadel an die entgegengesetzte Hemmung u. s. w.

An diesen Fall schließt sich der zuerst von Nobili am Multiplicator beobachtete Strom des Galvani'schen Präparates an.

Man rückt die Gläser näher und muß nun natürlich auch ein kürzeres Schließungsrohr anwenden. Man taucht die Füße wieder in das eine Gefäß und drückt behutsam das Stück Wirbelsäule in das andere Glas nieder. Im Moment, in welchem die Wirbelsäule die Oberfläche des Salzwassers berührt, erfolgt der Ausschlag der Nadel, während gleichzeitig das Präparat zuckt.

Den gleichen Erfolg am Multiplicator erhält man, wenn man die hintern Extremitäten allein, nach Wegschneiden der Nerven zu diesem Versuch anwendet. Der Ausschlag wird aber jetzt etwas stärker, weil der nicht unbedeutende Leitungswiderstand der Nervenstämme fehlt, dagegen bleibt die Zuckung aus.

Auch Matteucci bediente sich der unteren Extremitäten als Element seiner Froschsäulen; er läßt aber stets den nicht nur unnützen, sondern wegen Vergrößerung des Leitungswiderstandes und aus sonstigen Gründen sogar schädlichen Anhang der Nervenstämme und eines Stückes Wirbelsäule, obschon er dadurch gezwungen wurde, auf Anwendung einer bessern leitenden Flüssigkeit zu verzichten, weil diese durch Anätzen der Nerven störend wirkt.

Der Rumpf für sich gab in derselben Richtung einen, wenngleich schwächeren Strom. Ein aus den vorderen Extremitäten gemachtes, dem Galvani'schen entsprechendes Präparat giebt einen Ausschlag von 40°; der Strom ist in den thierischen Theilen von den Pfoten nach dem Brust- und Schultergerüst gerichtet.

Das einzelne Bein und der einzelne Arm giebt ebenfalls einen Strom, wenngleich schwächer, doch stets in gleicher Richtung.

Du Bois wandte sich nun zur Untersuchung anderer Thiere, da es undenkbar ist, daß, wie Matteucci noch lange glaubte, der Frosch allein mit einem solchen Strome begabt seyn sollte.

Die oben beschriebenen Versuche sind sämmtlich mit rana esculenta angestellt worden, welcher in der Regel zu physiologischen Versuchen verwendet wird. Gleiche Resultate, nur schwächere, geben andere Froscharten, noch schwächer wirken Kröten, welche, wie bereits Humboldt bemerkte, auch durch ihre Trägheit im Antworten auf Galvani'sche Reizung ausgezeichnet sind.

Salamandra maculata und Lacerta agilis gaben Ströme. Das Bein einer Taube gab einen absteigenden, der bloße Unterschenkel hingegen einen aufsteigenden Strom, und zwar wirkt derselbe stärker, als vorher das ganze Bein.

Ein Kaninchenbein giebt einen schwach aufsteigenden Strom u. s. w.

Derselbe Strom, welcher bei den eben besprochenen Versuchen Nadelablenkungen bewirkt, bringt auch physiologische Wirkungen hervor, und diese sind ja bereits von Galvani schon beobachtet worden. Du Bois's Vorrichtungen sind nun sehr geeignet, auch die Zuckungen mit Sicherheit und frei von fremden störenden Einflüssen zu beobachten, welche durch die Ströme des thierischen Körpers und seiner Theile hervorgebracht werden.

Der Strom des Gesammtfrosches kann diesen nicht selbst in Zuckung versetzen, weil er an keiner Stelle auf die Nerven allein angewiesen ist, weil er also in den Nerven nie die Dichtigkeit erreichen kann, welche nöthig ist, um eine Zuckung zu veranlassen. Soll der Strom des Gesammtfrosches eine physiologische Wirkung hervorbringen, so muß man sich des stromprüfenden Froschschenkels als Rheoskop bedienen. Die Anordnung des Versuchs ist folgende: In dem einen Zuleitungsgefäß ist ein Bausch angebracht; 10^{mm} davon befindet sich der Zwischenbausch; der Zwischenraum zwischen beiden ist durch ein Stück des Nerven des stromprüfenden Schenkels überbrückt, der natürlich vor der Berührung mit dem Salzwasser durch Eiweißhäutchen geschützt seyn muß. Die Füße des Frosches werden nun in das andere Gefäß eingetaucht, in welchem sich kein Bausch befindet, und das Thier rücklings niedergebogen. In dem Augenblick, in welchem die Nasenspitze den Zwischenbausch berührt, zuckt der stromprüfende Schenkel, der natürlich noch auf dem Gipfelpunkte seiner Erregbarkeit stehen muß. Gleichzeitig erfolgt ein Ausschlag der Multiplicatornadel.

Beim Gebrauche des Galvani'schen Präparates mit seinen Nervenstämmen und dem Stück Wirbelsäule wird der Zwischenbausch und der stromprüfende Froschschenkel entbehrlich, es dient seinem eigenen Strome als Rheoskop; am besten macht man den Versuch auf folgende Weise. Die Füße des Präparates tauchen in das eine Glas, das Becken wird auf eine passende Art unterstützt, und das Stück Wirbelsäule ruht in solcher Entfernung, daß die Nervenstämme schlaff herunterhängen auf dem mit Blase überzogenen Bausche des anderen Gefäßes. In dem metallischen Theile des Kreises, in welchem der Multiplicator auch ganz fehlen kann, befindet sich eine Lücke und hier wird mittelst eines Quecksilbernäpfchens die Kette nach Belieben geöffnet oder geschlossen, wobei denn die Zuckungen erfolgen. Die Oeffnungszuckung wird jedoch nur selten wahrgenommen.

Diese Anordnung ist die vollendetste Form des Galvani'schen Versuchs mit gleichartigem Metallbogen.

Um die Zuckung ohne Metalle durch den Strom des Gesammtfrosches hervorzubringen, gebraucht Du Bois folgenden Kunstgriff: er wendet drei Gläser mit Salzwasser und zwei Frösche an. Die Gläser sind so zusammengestellt, daß sie ein gleichschenkliges Dreieck bilden. Bezeichnen

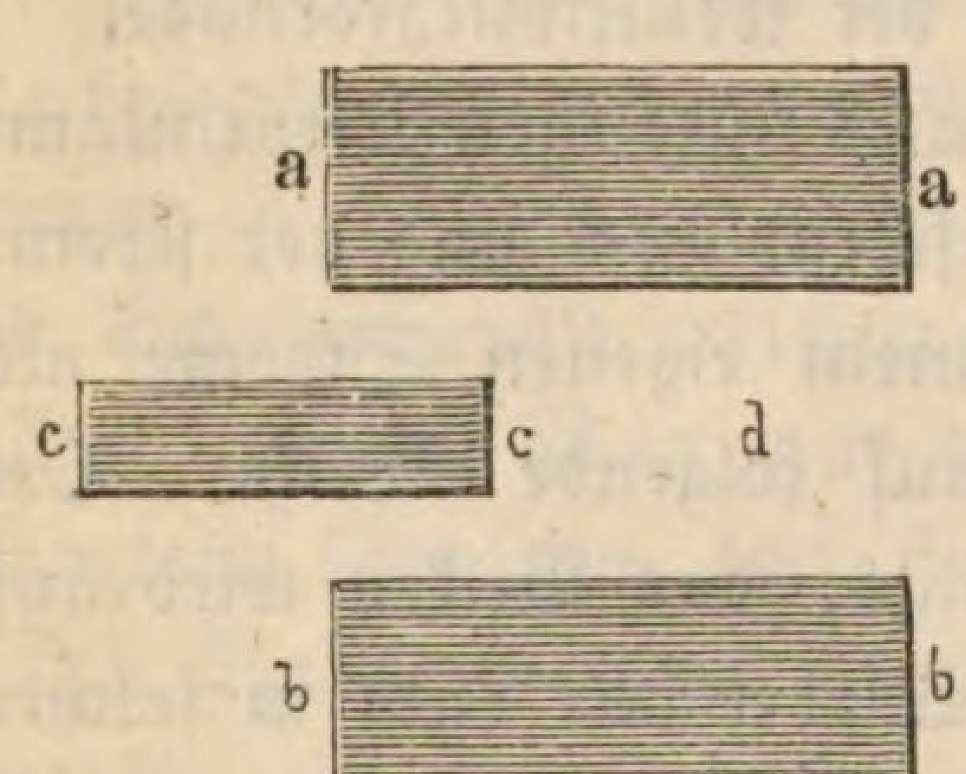
wir mit a und b die beiden Gläser, welche die kürzere Seite dieses Dreiecks bilden, so sind diese mit Bäuschen versehen, so daß der Zwischenraum zwischen denselben mit dem Nerv des stromprüfenden Schenkels überbrückt werden kann. Der eine Frosch bildet nun die Verbindung von a und dem dritten Gefäße c, der andere von b und c und zwar so, daß in c der Kopf des einen und die Füße des anderen Frosches eingetaucht sind. In dem Augenblick, in welchem durch den zweiten Frosch die Kette geschlossen wird, zuckt der Schenkel.

Es ist hier der combinirte Strom beider Frösche, welcher die Zuckung bewirkt.

Um die Zuckung ohne Metalle mit dem Galvani'schen Präparat zu erhalten, ist das folgende, schon von Nobili angewandte Verfahren das zweckmäßigste. Zwei Präparate werden auf einer isolirenden Unterlage so neben einander gelegt, daß sie einen einzigen Kreis bilden, in welchem der vereinigte Strom beider wirksam ist; hierbei müssen die Nerven eines jeden Präparates auf die Muskeln des anderen gelegt werden.

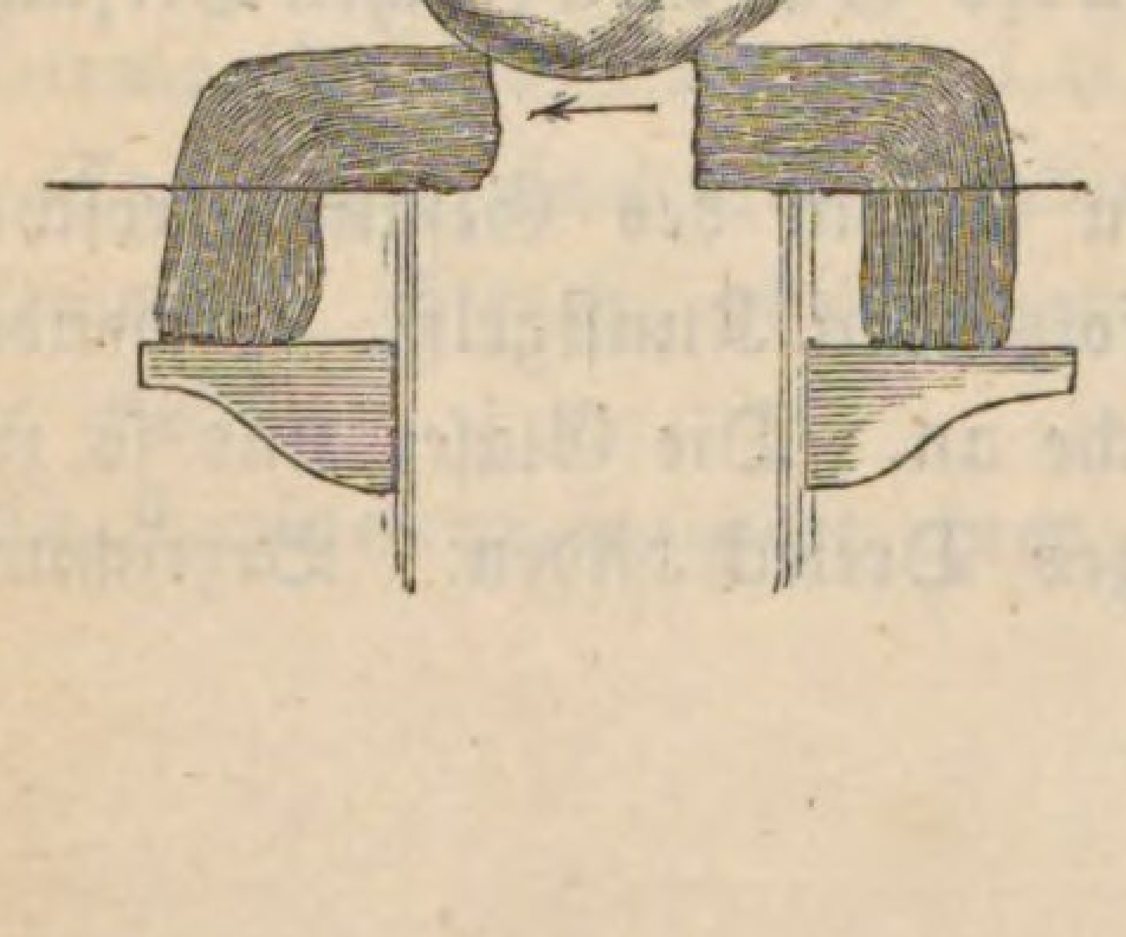
Um durch den Strom, welchen, wie wir bald sehen werden, der Gastroknemius des Frosches liefert, ohne Metalle den stromprüfenden Schenkel zum Zucken zu bringen, kann man folgendes Verfahren anwenden. Zwischen zwei Bäuschen, *a* und *b* Fig. 290, ist der Zwischenbausch *c* auf der einen Seite so eingeschoben, daß auf der anderen Seite der ganze Zwischenraum zwischen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwischenraum zwischen *a* und *c* wird durch den Nerv des stromprüfenden Schenkels, der zwischen *b* und *c* durch den Gastroknemius in geeigneter Weise überbrückt, und dann die Kette dadurch geschlossen, daß man auf der anderen Seite bei *d* die leitende Verbindung zwischen *a* und *b* mittelst eines Schließungsbausches herstellt. In demselben Augenblick, wo dies geschieht, zuckt der stromprüfende Schenkel.

Fig. 290.



288 **Von dem Muskelstrome.** Schneidet man den großen Wadenmuskel (Gastroknemius) des Frosches, ohne das Fleisch desselben zu verletzen, an dem oberen und unteren sehnigen Ende los und legt ihn, wie Fig. 291 zeigt, auf die Bäusche, so verläßt augenblicklich die Nadel den Nullpunkt, und fliegt, einen Strom im Muskel von der Achillessehne zum

Fig. 291.



Kopfe, also in derselben Richtung anzeigend, wie in allen bisher untersuchten Theilen des Frosches, wider die Hemmung. Dasselbe leistet der große Unterschenkelstrecker (extensor cruris) an der vorderen Fläche des Oberschenkels.

Beim Auflegen verschiedener Oberschenkelmuskeln des Frosches auf's Gerathewohl, stößt man zunächst auf ein völlig regelloses Gewirre von Erscheinungen. Von dem einen nämlich erhält man gar keine Wirkung, von dem anderen Wirkung in aufsteigendem, von noch anderen in absteigendem Sinne. Nicht genug, auch ein und derselbe Muskel giebt, je nachdem man ihn auflegt, dieselben wechselnden Erfolge. Dasselbe ist der Fall für die Muskeln anderer, sowohl warm- als kaltblütiger Thiere.

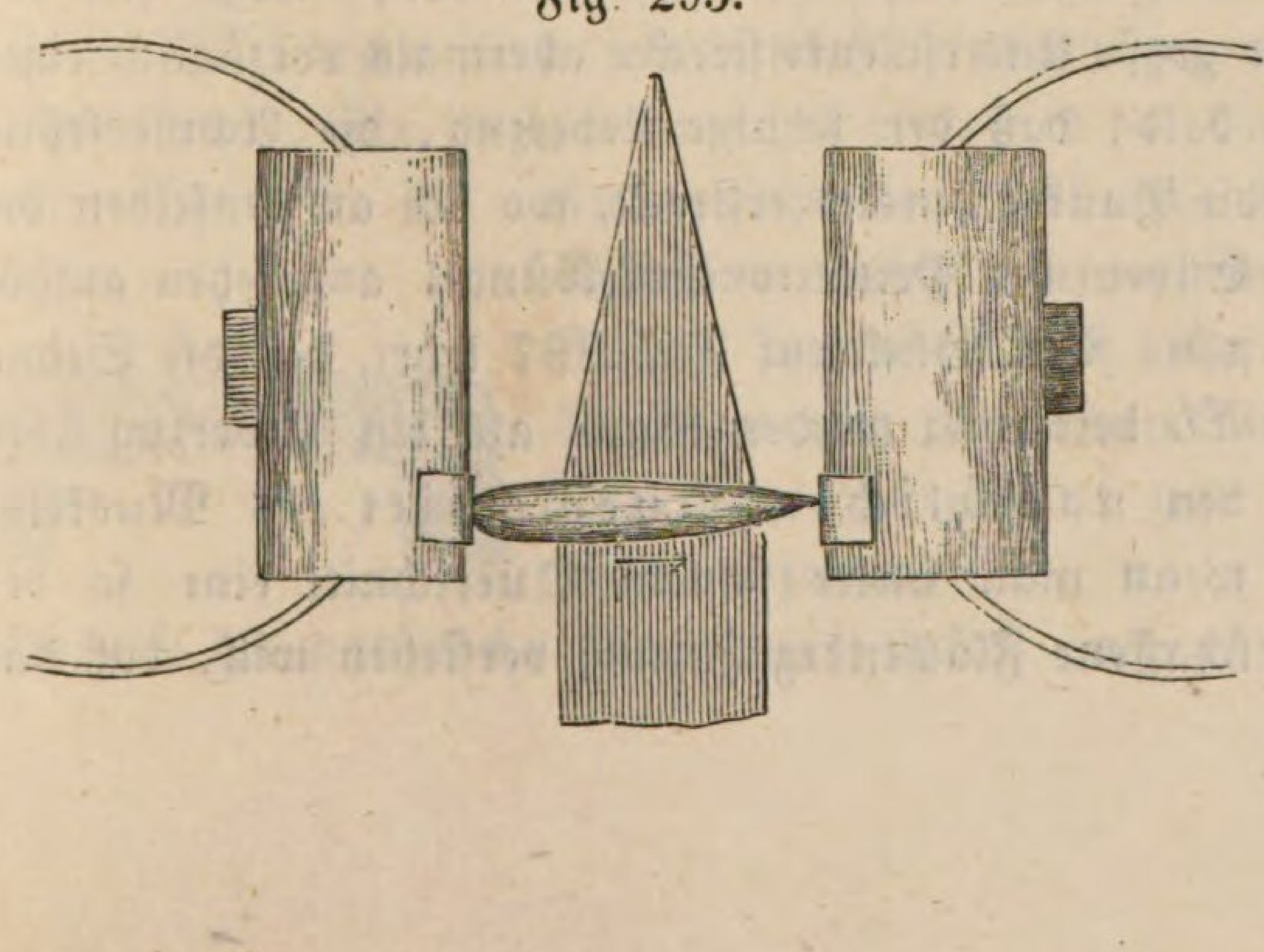
Daraus geht hervor, daß auch wohl bei verschiedenen Muskeln die Verschiedenheit der Wirkungsweise auf der Veränderung der Bedingungen beruhen dürfte, unter denen die Ströme von ihnen gewonnen werden, da es doch wahrscheinlich ist, daß sie alle nach einem und demselben Gesetz elektromotorisch wirken. — Der Froschstrom und die ihm entsprechenden thierisch elektrischen Ströme sind nun auf einen allgemeinen Muskelstrom zurückgeführt; wir dürfen sie bis auf Weiteres als die Resultanten aus den verschieden gerichteten und verschieden starken Partialströmen betrachten, welche im Innern der thierischen Glieder von den einzelnen Muskeln ausgehen. Die scheinbare Beständigkeit der aufsteigenden Strömungsrichtung am Frosche ist somit in eine bloße Zufälligkeit aufgelöst.

Um das Gesetz des Muskelstromes zu finden, untersuchte nun Du Bois das Verhalten eines und desselben Muskels bei veränderter Art des Auflegens auf die Bäusche. Er wählte dazu vorzugsweise solche Muskeln, welche meist gar keinen Strom geben, wenn sie mit ihren sehnigen Enden die Bäusche berühren, wie Fig. 292 darstellt. Um den Muskel auf diese Weise zwischen die Bäusche bringen zu können, wird er von einer vorn zugespitzten Glasplatte getragen, wie man Fig. 293 sieht. Diese Glasplatte ist an einem passenden Statif befestigt.

Fig. 292.



Fig. 293.



Am geeignetsten ist zu diesen Versuchen der Musculus semi membranosus.

Bei der eben betrachteten Lage giebt also dieser Muskel keinen oder nur einen sehr schwachen Strom. Hebt man aber nun das eine Ende *b* des Muskels in die Höhe, und schiebt man dann die Gläser zusammen, so daß der eine Bausch das rothe Muskelfleisch berührt, während das sehnige Ende *a* des Muskels gegen den andern Bausch anstößt, wie Fig. 294, so erfolgt ein kräftiger Ausschlag, welcher im Muskel einen Strom vom sehnigen Ende gegen die berührte Stelle des Muskelfleisches anzeigt.

Fig. 294.



Bringt man den Muskel, nach Ausgleichung der Ladungen in die Lage Fig. 295, so erfolgt abermals ein Ausschlag, welcher wiederum einen Strom im Muskel von der Sehne zum Fleisch anzeigt. Ist *a* das Kopfende des Muskels, so hatte man also in dem Fig. 294 dargestellten Falle einen absteigenden Strom, in dem Falle aber, welchem die Fig. 295 entspricht, einen aufsteigenden. Man sieht daraus, daß sich die Bezeichnung des »aufsteigenden« oder »absteigenden« Stromes auf etwas ganz Unwesentliches bezieht.

Fig 295.



In der Lage, Fig. 296, wo nur rothes Muskelfleisch auf beiden Seiten die Bäusche berührt, bleibt in günstigen Fällen das Gleichgewicht der Nadel ungestört.

Fig. 296.



Auf den ersten Anblick scheint es, als könne man aus diesen Erfahrungen einen Schluß auf die Ungleichartigkeit des rothen Fleisches und des Sehnengewebes an den Enden der Muskeln ziehen; wir werden jedoch bald sehen, daß dies nicht der Fall ist, daß vielmehr die Sehne hier die Rolle eines unwirksamen leitenden Ueberzuges spielt.

Stellt man nämlich an einem in warmem Wasser oder in verdünntem Alkohol erhärteten Muskel durch Zerreißen oder Zerschneiden in der Richtung der Fasern einen Längsdurchschnitt derselben dar, wozu sich der Wadenmuskel oder der große Unterschenkelstrecker abermals vorzüglich eigenen, so gewahrt man bald, daß der sehnige Ueberzug, die Achillessehne z. B., sich kaum über die Punkte hinaus erstreckt, wo sich an denselben die Enden der Primitivmuskelbündel anzusetzen aufhören. Ein Blick auf Fig. 297 lehrt, daß die Sehne *ab* betrachtet werden könne als ein Ueberzug über den **natürlichen Querschnitt** des Muskels, wenn man unter seinem Querschnitt eine so beschaffene Flächenbegränzung verstehen will, daß da-

Fig, 297.

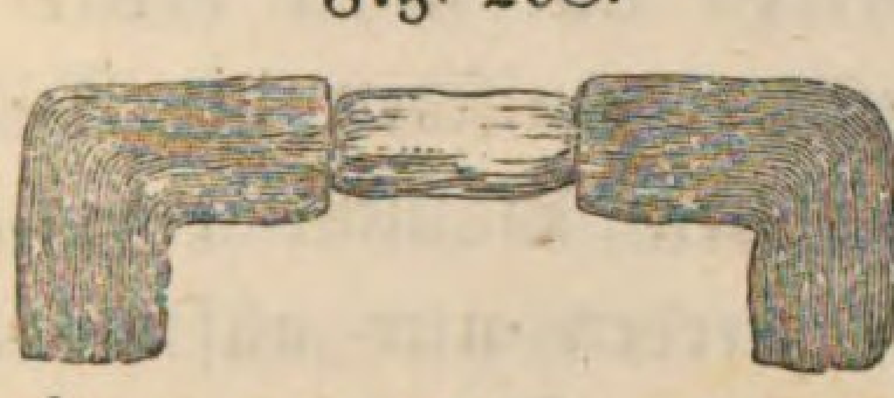


rin nur Grundflächen der als Prismen oder als Cylinder gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Eben so sieht man, daß alsdann das, was wir bisher als rothes Fleisch bezeichneten (bc), als der natürliche Längsschnitt des Muskels angesehen werden muß, wenn wir nämlich unter einem Längsschnitt eine so beschaffene Flächenbegränzung an demselben verstehen wollen, daß darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder als Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Die Annahme, daß diese beiden Flächenbegränzungen am Muskel, sein natürlicher Längsschnitt und sein natürlicher Querschnitt sich untereinander ungleichartig verhalten, reicht nun zur Erklärung der eben angeführten Erscheinungen aus, wenn man die Sehnen als einen indifferenten leitenden Ueberzug betrachtet.

Es ist nun unwahrscheinlich, daß die Ungleichartigkeit des natürlichen Querschnittes, wenn es wirklich eine solche giebt, nur an der Oberfläche desselben haften solle. Es ist vielmehr viel ansprechender, sich zu denken, daß sie nichts als der Ausdruck der Ungleichartigkeit des Inneren aller Primitivmuskelbündel gegen ihr Aeußeres sey. Ist dies der Fall, so muß sich auch ein künstlicher Querschnitt ähnlich verhalten, wie der natürliche Querschnitt.

Schneidet man einen Muskel mit einer scharfen Scheere quer durch, so verhält sich in der That dieser künstliche Querschnitt in allen Fällen ganz so wie der natürliche mit der Sehne bekleidete Querschnitt in den Fig. 294 bis Fig. 296 dargestellten Fällen. Der von zwei künstlichen Querschnitten begränzte mittlere Theil des Muskels in der Fig. 298 dargestellten Weise zwischen die Bäusche gebracht, giebt keinen Strom, oder doch nur schwache Wirkungen, bald in der einen, bald in der anderen Richtung, was daher rührt, daß es sehr schwer hält zu verhindern, daß nicht auf der einen oder anderen Seite die Kante zwischen dem künstlichen Querschnitt und dem natürlichen Längsschnitt sich etwas umlege, so daß auch einige Punkte der Mantelfläche der äußeren Muskelfasern mit dem Bausch in Berührung kommen.

Fig. 298.



Diese Wirkungen sind jedoch verschwindend gegen diejenigen, welche die Anordnung, Fig. 299, bei welcher einerseits der künstliche Querschnitt, andererseits der natürliche Längsschnitt an den Bäuschen anliegt, hervorbringen; hier fliegt die Nadel, wenigstens bei dickeren Muskeln, gegen die Hemmung, stets einen Strom im Muskel vom künstlichen Querschnitt zum natürlichen Längsschnitt anzeigend.

Fig. 299.



Da also der natürliche Querschnitt durch einen künstlichen Querschnitt

ersetzt werden kann, so ließ sich erwarten, daß auch der natürliche Längsschnitt durch einen künstlichen Längsschnitt ersetzt werden könne, welchen man durch eine Spaltung des Muskels in der Richtung der Fasern erhält.

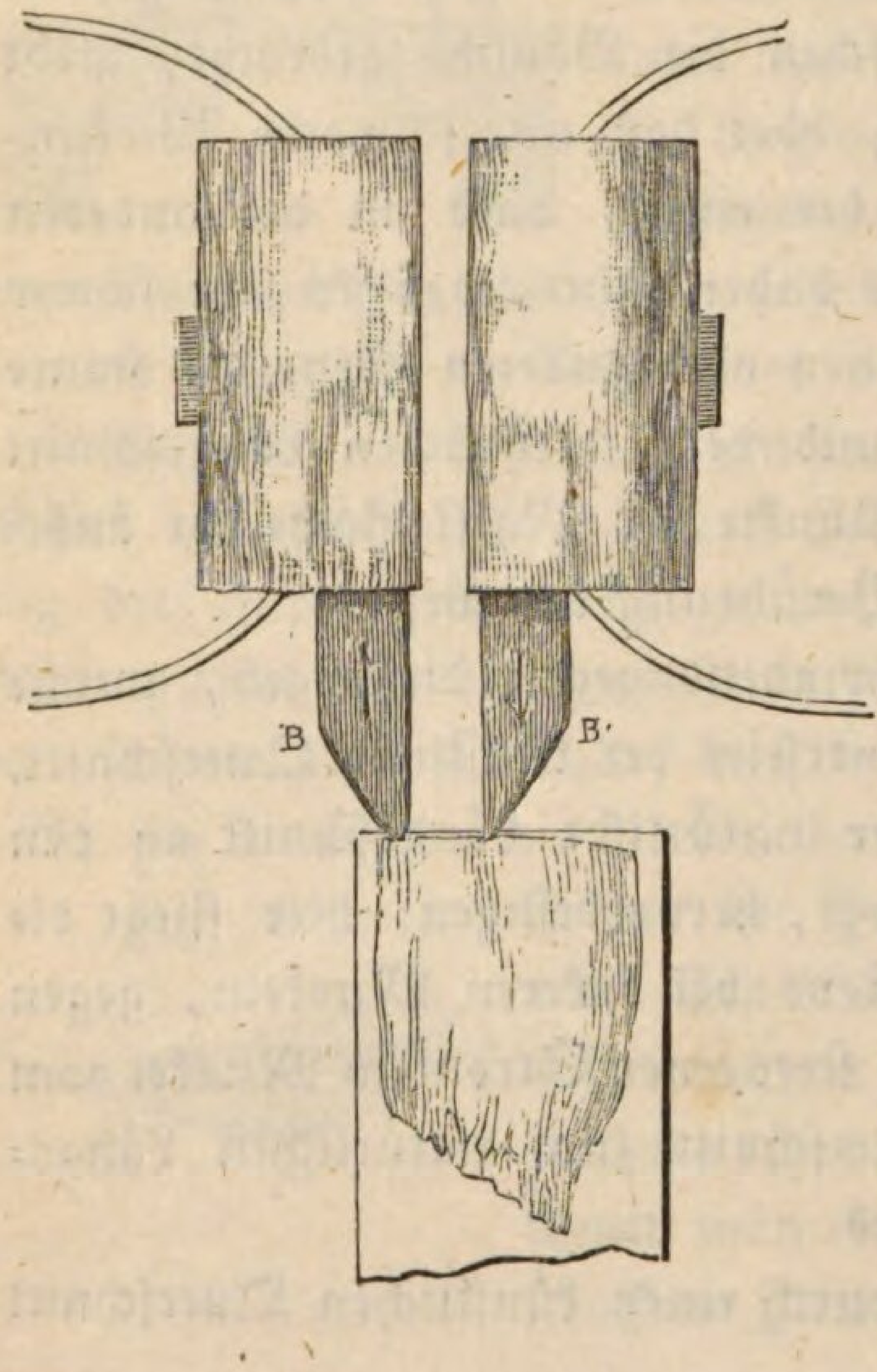
Der Versuch zeigt nun, daß sich der künstliche Längsschnitt elektromotorisch gerade ebenso verhält, wie der natürliche Längsschnitt.

So ist denn durch die bisherigen Versuche die Thatsache erwiesen, daß jeder Punkt eines natürlichen oder künstlichen Längsschnittes am Muskel sich positiv verhält gegen einen Punkt am natürlichen oder künstlichen Querschnitt.

Es ist aber nun zu untersuchen, wie sich verschiedene Punkte desselben Querschnittes zu einander verhalten, ebenso, ob verschiedene Punkte desselben Längsschnittes elektromotorisch gleichartig sind oder nicht.

Die Muskeln des Frosches sind zu klein, um das elektromotorische Verhalten verschiedener Punkte desselben Querschnittes gegen einander zu untersuchen. Du Bois wählte zu dieser Untersuchung Muskeln vom Kaninchen; am tauglichsten dazu ist der Triceps femoris. Der Querschnitt wird mit einem möglichst scharfen Instrument dargestellt, wobei alles Sägen zu vermeiden ist, damit er ganz rein sey und nicht treppenförmige Absätze zeige. Die Art, wie der Versuch angestellt wird, ist aus Fig. 300 ersichtlich. Die Hülfsbäusche B und B', welche nur aus wenigen Lagen Fließpapier bestehen und gleichfalls mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt sind, werden mit ihren breiteren Enden entweder zwischen die Lagen der gewöhnlichen Bäusche eingeklemmt oder sie werden nur auf dieselben aufgelegt; ihre Spitzen werden dann, wie es die Figur andeutet, mit verschiedenen Punkten des Querschnittes in Berührung gebracht.

Fig. 300.



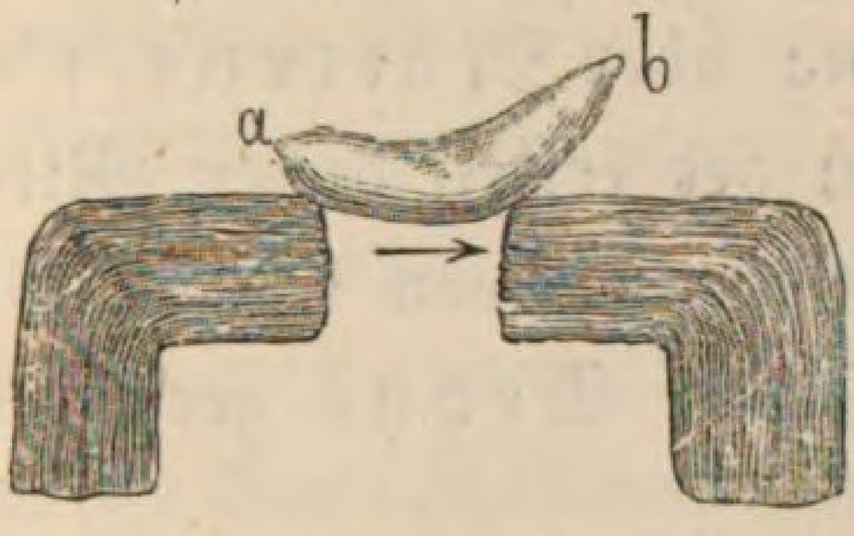
Das Ergebniß dieser Untersuchung ist nun wirklich Ungleichartigkeit der verschiedenen Punkte des Querschnittes. Es verhalten sich nämlich solche Punkte, welche der Mitte des Querschnittes näher liegen, elektromotorisch negativ gegen solche, welche weiter von derselben entfernt sind.

Der Strom, welchen man von zwei verschiedenen Punkten des Querschnittes erhält, ist übrigens weit schwächer als der, welchen man erhält, wenn man eine leitende Verbindung zwischen einem Punkte des Querschnittes und einem Punkte des Längsschnittes herstellt. Während im letzteren Falle die Nadel an die Hemmung fliegt, beträgt hier der Ausschlag nur 10 bis 25 Grad.

Der natürliche Querschnitt zeigt ganz dasselbe Verhalten, wie der künstliche, wie dies Du Bois durch Versuche am Sehnenspiegel mehrerer Muskeln vom Kaninchen nachgewiesen hat.

Ebenso sind auch die verschiedenen Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Muskels keineswegs unter sich gleichartig. Wenn die beiden auf die Bäusche aufgelegten Punkte des Muskels gleichweit von der Mitte desselben abstehen, so erhält man keine oder doch nur eine ganz schwache Wirkung, wie wir bereits oben gesehen haben; legt man aber den Muskel so auf, daß der eine berührende Punkt weiter von dem mittleren Querschnitt des Muskels entfernt ist, als der andere, wie dies Fig. 301 zeigt, so erhält man stets einen Strom, welcher im Muskel von dem näher gegen das Ende desselben liegenden Berührungspunkte gegen den anderen hingeht; an der äußeren Mantelfläche des Muskels sind also alle Punkte, welche dem mittleren Querschnitt näher liegen, positiv gegen solche Punkte, welche dem Ende des Muskels näher sind.

Fig. 301.



Die Stärke der Ströme, welche von zwei verschiedenen Punkten des Längsschnittes eines Muskels erhalten werden, ist gleichfalls weit geringer, als die Stärke derjenigen Ströme, welche vom Längsschnitt zum Querschnitt gehen.

Dies sind die Grundzüge des von Du Bois ermittelten Gesetzes des Muskelstromes, durch welches die Elektrophysiologie auf einen ganz neuen Standpunkt gehoben worden ist.

Das Gesetz des Muskelstromes ist nicht etwa an einzelne Thiergattungen gebunden, es ist, nach Du Bois's Versuchen, über das ganze Thierreich verbreitet. Er hat die Negativität des künstlichen Querschnittes gegen den natürlichen Längsschnitt beobachtet an Muskeln vom Menschen (Muskeln eines eben amputirten Beines), vom Kaninchen, vom Meerschweinchen, von der Hausmaus, — der Taube und dem Sperling; — der Schildkröte, Eidechse, Ringelnatter, Blindschleiche, verschiedenen Arten von Fröschen und Kröten, dem Erd- und dem Wassermolch; — vom Schley, Flußkrebs und Regenwurm. Bei letzterem wurden die ganzen Stücke des walzenförmigen Körpers ohne weiteres als Muskel aufgelegt.

289 **Zur Geschichte des Gesetzes des Muskelstroms.** Ohne Zweifel gebührt keinem Anderen als Du Bois die Ehre als Entdecker des Gesetzes des Muskelstromes genannt zu werden, denn er ist es, welcher zuerst einem bloßen Stücke Muskel einen Strom entlockte, welcher den Gegensatz des natürlichen oder künstlichen Querschnittes zum natürlichen oder künstlichen Längsschnitt nachgewiesen hat. Diese Nachweisung findet sich bereits in seinem »vorläufigen Abrisse.« Die Differenzen zwischen verschiedenen Punkten desselben Querschnittes oder verschiedenen Punkten desselben Längsschnittes hatte er damals noch nicht ermittelt.

Sehen wir nun, was Matteucci auf diesem Felde geleistet hat. Im September 1841 machte er in den Comptes rendus die Beobachtung bekannt, daß, wenn der innere Theil eines lebenden oder fast lebenden Muskels durch einen Galvanometerdraht oder durch den Nerv eines stromprüfenden Froschschenkels mit irgend einem anderen Theile desselben Thieres, der Oberfläche des Muskels, der Haut u. s. w. in Verbindung gebracht wird, ein Strom entsteht, welcher im Thiere von dem muskulösen Theile zu dem geht, welcher es nicht ist.

Am 21. Februar 1842 und am 17. October desselben Jahres machte Dumas der Pariser Akademie weitere Mittheilung über Matteucci's Beobachtung der Negativität des Muskelinnern; in der ersten dieser Mittheilungen wird gesagt, daß der Strom im Thier vom Innern des Muskels oder vom Nerv zu seiner Oberfläche oder seiner Sehne gerichtet sey.

Man sieht hieraus, wie weit Matteucci noch von der richtigen Erkenntniß des Gesetzes des Muskelstromes entfernt war, daß er keine Ahnung hatte von dem Gegensatze der Mantelfläche und des Querschnitts der Primitivmuskelbündel. Er gab den von ihm gemachten Beobachtungen sogleich eine falsche Deutung und wußte sie nicht bis zur Ermittelung des wahren Zusammenhanges zu verfolgen. In der zweiten Mittheilung, welche Dumas der Akademie über Matteucci's Arbeiten machte, ist nur die Rede von den Zuckungen des stromprüfenden Schenkels, welche man erhält, wenn man seinen Nerv in die Wunde eines bloßgelegten, transversal durchschnittenen Brust- oder Schenkelmuskels einer Taube einführt.

Im November desselben Jahres publicirte Matteucci einen Aufsatz, in welchem er über eine Säule von Froschschenkeln berichtet. Die Schenkel allein, ohne Nerven und Unterbein, wurden quer durchschnitten und die Säule so zusammengesetzt, daß die innere Muskelfläche eines jeden mit der äußeren Fläche des folgenden Stücks in Berührung kam. Der Strom war im Muskel stets von der inneren zur äußeren Muskelfläche gerichtet. — In diesem Aufsatze findet sich denn untern anderen auch

wieder die schon oben erwähnte Identificirung von Nerv und Muskelinnerem gegenüber von Sehne und Muskeloberfläche ausgesprochen.

Vergleicht man den Gang dieser Untersuchungen mit dem der Du Bois'schen, so wird wohl schwerlich ein Zweifel gegen die Selbstständigkeit der Arbeiten Du Bois's aufkommen können.

Gehen wir nun zu denjenigen Untersuchungen über, welche Matteucci in Betreff unsers Gegenstandes nach dem Erscheinen von Du Bois's „vorläufigem Abriß“ publicirt hat. Die bis zum Jahre 1844 erhaltenen Resultate finden wir in seinem Traité u. s. w. zusammengestellt.

Hier erfährt man Näheres über die Größe der Wirkungen, die er mit seinen Schenkelsäulen am Multiplicator hervorbrachte. Eine Säule von 3 halben Oberschenkeln des Frosches ergab 15° Ausschlag, als Wasser, 35°, als eine Kochsalzlösung, die Zuleitungsflüssigkeit war. Bedenkt man, daß bei den von Du Bois angewandten Vorrichtungen ein einziger Muskel die Nadel an die Hemmung warf, also eine ungleich größere Wirkung hervorbrachte, als Matteucci mit ganzen Schenkelsäulen erreichen konnte, so ist dieser Vergleich wohl geeignet, die bedeutende Ueberlegenheit der Du Bois'schen Methode zu experimentiren über die rohen Versuche, mit welcher Matteucci auftritt, darzuthun.

Eine große Verwirrung hat Matteucci dadurch angerichtet, daß er lange Zeit einen Unterschied zwischen Froschstrom und Muskelstrom machte. Diese Unterscheidung spricht er selbst in seinem Traité, also im Jahre 1844 noch aus. Er stellt hier noch die Behauptung auf, alle Thiere besäßen einen Muskelstrom; nur der Frosch sey außerdem noch mit einem ohne nachweisbaren Grund in allen Theilen desselben vorhandenen aufsteigenden Strom ausgestattet, welcher der Froschstrom genannt wird.

Erst im März 1845 sieht er die Einerleiheit des Frosch- und Muskelstromes ein und lernt die Negativität der Sehne kennen, er publicirt sie im Jahre 1846 dreimal hinter einander, als das wichtigste Ergebniß seiner neuesten Untersuchungen, obgleich er vom September 1845 an eingestandenermaßen Du Bois's Abhandlung kennt.

Erörterung des elektromotorischen Wirkungsgesetzes des Muskelgewebes. 290 Wir haben gesehen, daß ein Muskel elektromotorische Wirkungen giebt, er mag von künstlichen oder natürlichen Längs- oder Querschnitten begränzt seyn; wir haben ferner gesehen, daß auch ein nur von künstlichem Längs- und Querschnitt begränztes Muskelstück auch noch elektromotorisch wirkt. Es ist nun zu untersuchen, welches die elektromotorischen Elemente sind, aus denen der Muskel zusammengesetzt ist. In dem »vorläufigen Abriß«, erwähnt Du Bois Versuche, die

er mit Muskelfetzchen anstellte, die oft nur aus 10 bis 15 Primitivmuskelbündeln bestanden und welche in ihren wirksamen Lagen 8 bis 10 Grad Ausschlag, durch Umlegen 15 bis 18 Grad gaben. Später ist es ihm geglückt, von *einem einzigen* wirksam aufgelegten *Primitivmuskelbündel* 8 bis 10 Grad Ausschlag zu erhalten.

Dies ist der Punkt, bis zu dem es verstattet ist, mit der unmittelbaren Beobachtung vorzudringen. — Wir werden dadurch zu der Annahme geführt, *daß es das Primitivmuskelbündel ist, in welchem der Strom erzeugt wird.*

Es ist nun zu untersuchen, wie wohl die ungleichartigen Bestandtheile in dem Primitivmuskelbündel angeordnet seyn müssen, damit dasselbe die Erscheinungen hervorbringe, welche wir bereits kennen gelernt haben. Es fragt sich, ob es nicht möglich ist, eine Vorrichtung zu construiren, mittelst deren man alle die elektrischen Erscheinungen des Muskels nachahmen kann?

Auf den ersten Blick scheint folgende Vorrichtung diese Bedingung zu erfüllen. Man denke sich einen durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen roth gebliebenen Cylinder. Legt man einen, aus einem feuchten Leiter bestehenden Bogen mit einem seiner Enden an den Mantel, mit dem andern an eine der Grundflächen dieses Cylinders an, so wird man stets einen Strom haben, der in dem Schließungsbogen vom Mantel zur Grundfläche geht. Schneidet man den Cylinder senkrecht auf die Axe durch, so leistet jedes Bruchstück dasselbe.

Soweit leistet die Anordnung, was sie soll; allein die feineren Züge der Erscheinung, welche wir am Muskel kennen lernten, kann sie nicht hervorbringen. Berührt nämlich der Bogen zwei Punkte der Mantelfläche allein, so wird kein Strom entstehen; eben so wenig, wenn man zwei Punkte der Grundfläche allein berührt, während wir doch im Muskel schwache Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes sowohl, wie zwischen verschiedenen Punkten des Querschnittes gefunden hatten.

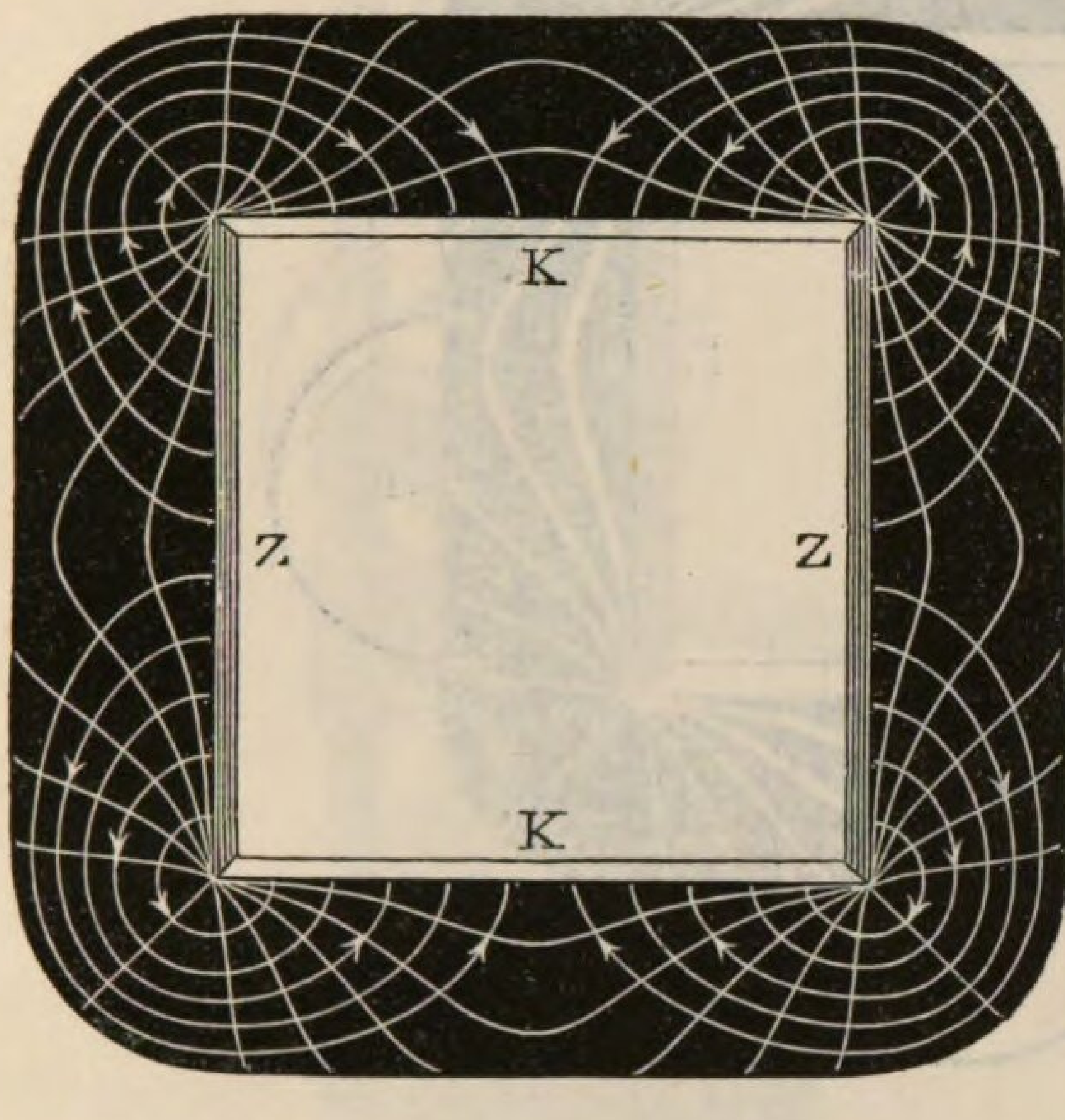
Um der Forderung zu entsprechen, daß das künstliche Schema auch solche Ströme gebe, müssen wir uns den eben besprochenen kupfernen, am Mantel verzinkten Cylinder ringsum von einem feuchten Leiter umgeben denken, welcher auf allen Punkten eine Schicht von gleicher Höhe bildet.

Von einem solchen flüssigen Leiter umgeben, wird an unserm Zinkkupferschema ein beständiger Strömungsvorgang stattfinden; es werden beständig Ströme von den verschiedenen Punkten des verzinkten Mantels durch die Flüssigkeit zum kupfernen Querschnitt gehen. Stellt man nun außerhalb eine leitende Verbindung zwischen zwei verschiedenen Punkten der Oberfläche der feuchten Hülle her, so wird dadurch eine Nebenschlie-

ßung hervorgebracht. Die in dieser Nebenschließung cursirenden Ströme sind es denn, welche, wenn sich diese Ansicht bewährt, den Strömen entsprechen, welche wir in den, an verschiedenen Punkten des Muskels angelegten Schließungsbogen beobachteten.

Fig. 302 stellt den Durchschnitt eines Kupferzinkschemas dar, welches ringsum mit einer flüssigen Hülle umgeben ist. Beim Entwerfen der Figur ist die Höhe des metallischen Cylinders seinem Durchmesser gleich angenommen worden. Die von den Zinkseiten zu den Kupferflächen gehenden (durch kleine Pfeilspitzen bezeichneten) Linien stellen die Strömungskurven dar, d. h. die Linien, nach welchen ungefähr die von verschiedenen Punkten der Zinkseiten ausgehenden positiven Ströme durch die flüssige Hülle zu den entsprechenden Punkten der Kupferflächen übergehen.

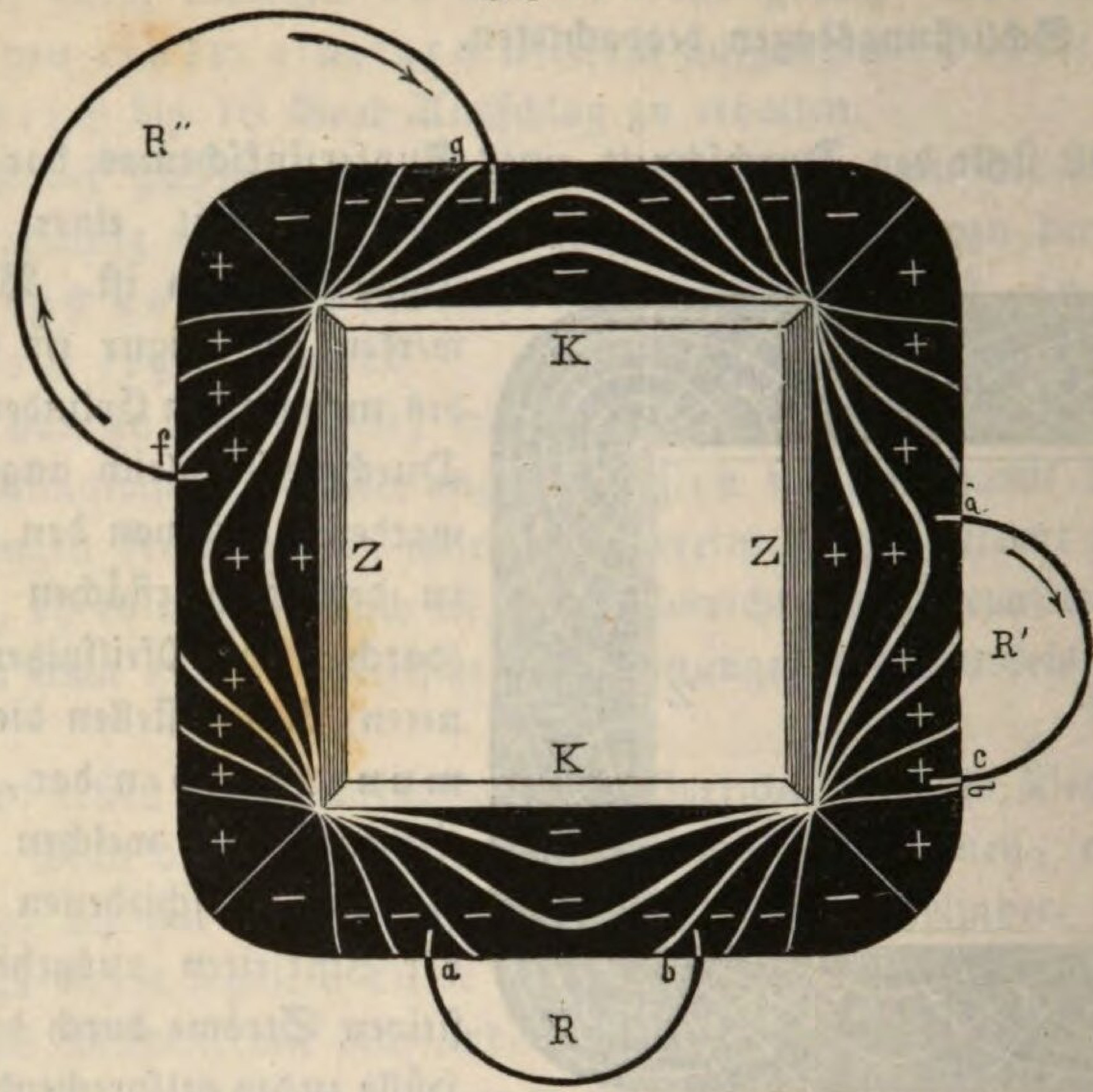
Fig. 302.



Mit Hülfe der Strömungskurven kann man nun auch den ungefähren Lauf der Kurven gleicher elektrischer Spannung in der Flüssigkeit verfolgen, welche Du Bois isoelektrische Kurven nennt. — Zwischen der Zinkfläche und der Kupferfläche unsers Schemas wird nämlich stets ein bestimmter elektrischer Gegensatz stattfinden. Betrachten wir nun irgend eine Strömungskurve, welche einen Punkt der Zinkseite mit einem Punkte der Kupferfläche verbindet, so ist klar, daß in der Mitte dieser Kurve die elektrische Spannung gleich Null ist. Von diesem neutralen Punkte an nimmt aber die positive Spannung auf derselben Strömungskurve um so mehr zu, je mehr man sich der Zinkseite nähert, während auf der anderen Seite mit der Annäherung gegen die Kupferfläche die negative Spannung zunimmt. Denken wir uns nun ein zweites Kurvensystem so gelegt, daß die neuen Kurven die Strömungskurven rechtwinklig schneiden, wie dies in der Figur wirklich ausgeführt ist, so sind dies die isoelektrischen Kurven, d. h. diejenigen, welche die Punkte gleicher elektrischer Spannung in der Flüssigkeit mit einander verbinden. In Fig. 303 (s. f. S.) sind die isoelektrischen Kurven allein ohne die Strömungskurven verzeichnet, und zwar sind sie um so stärker ausgezogen, je größer an der entsprechenden Stelle die elektrische Spannung ist. Die

Natur der elektrischen Spannung an verschiedenen Punkten der Flüssigkeit ist durch + und — bezeichnet.

Fig. 303.



Mit Hülfe dieser Figur kann man leicht übersehen, was erfolgen wird, wenn man einen leitenden Bogen an verschiedenen Stellen der feuchten Hülle anlegt.

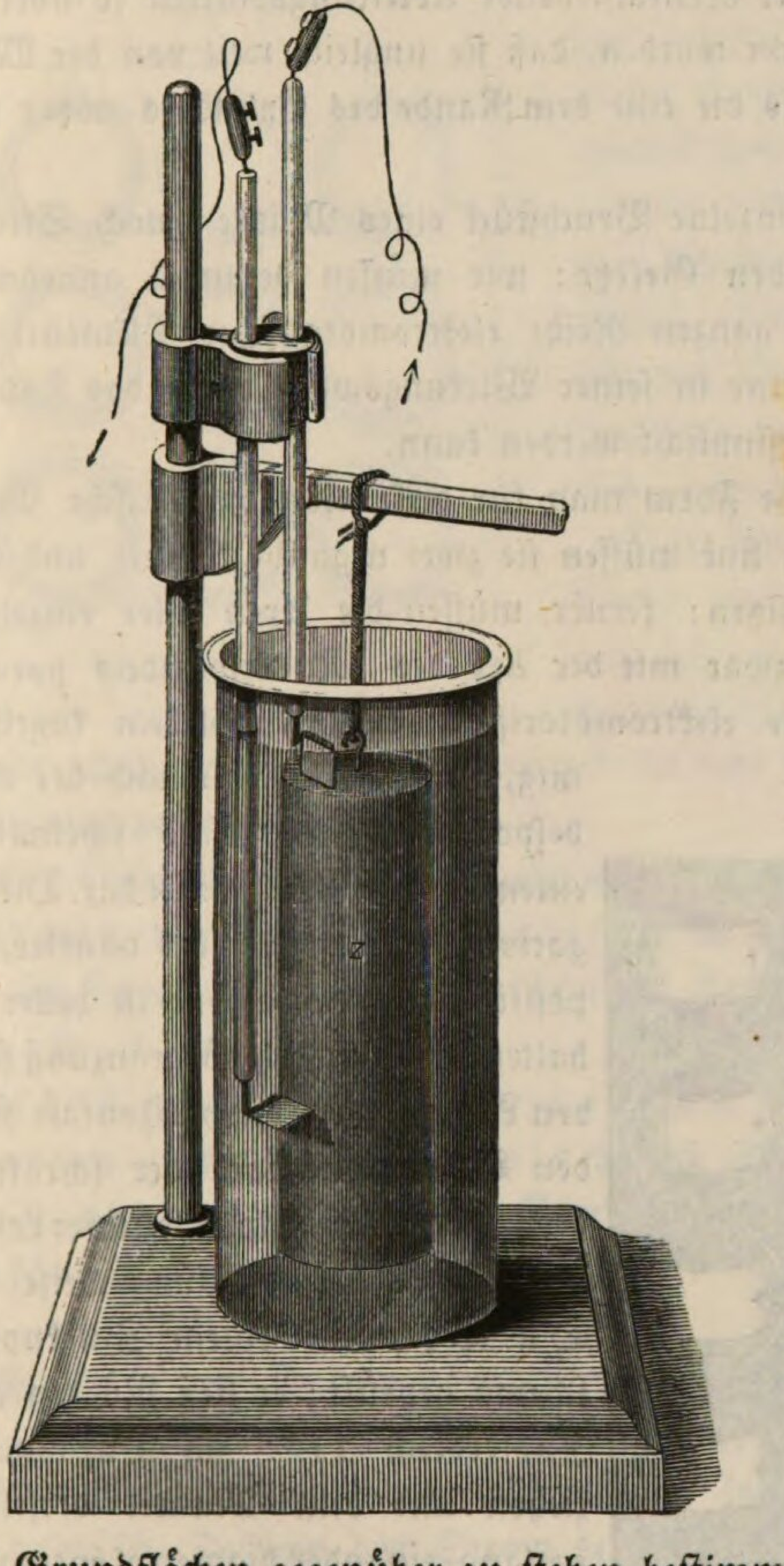
Ist der Schließungsbogen so angelegt, wie *R*, daß seine Enden *a* und *b* gleichweit abstehen von der Mitte der berührten Seite, so kann kein Strom in diesem Schließungsbogen entstehen, weil bei *a* und bei *b* gleiche Spannung der gleichen Elektricität stattfindet. — Wird der leitende Bogen aus der Mitte weggerückt, wie dies bei *R'* der Fall ist, so ist die Dichtigkeit der Elektricität an den beiden Fußpunkten des Bogens nicht mehr dieselbe; zwar findet sich dieselbe Elektricität bei *c* und bei *d*, nämlich positive, da aber bei *d* eine stärkere Spannung herrscht, so muß nothwendig ein Strom von *d* nach *c* entstehen.

Weit stärker wird der Strom werden müssen, wenn der eine Fußpunkt des leitenden Bogens über die Kupfer-, der andere über die Zinkseite zu stehen kommt, wie dies bei *R''* der Fall ist, denn *f* berührt an einer Stelle wo sich positive, *g* an einer Stelle wo sich negative Elektricität vorfindet.

Du Bois hat nun diese Folgerungen auch durch das Experiment zu bestätigen gesucht. Nach mehreren anderen Versuchsformen kam er auf folgende, welche die Erscheinungen des Muskelstroms sehr treu darstellt. Ein Cylinder von Kupferblech, dessen Mantel verzinkt war, während seine

Grundflächen roth blieben, hatte eine Höhe von 155^{mm} und einen Durchmesser von 55^{mm}. Das Zink an seinem Umfange war amalgamirt. Er hing mittelst eines wohlgefirnißten Hakens an einer Schnur in einem mit Wasser gefüllten cylindrischen Glase von 90^{mm} Durchmesser, Fig. 304.

Fig. 304.



Der Halter, welcher den Cylinder trug, führte zugleich eine Klemme, welche einen doppelt durchbohrten Kork enthielt. In jeder Durchbohrung ließ sich ein Glasrohr auf- und niederschieben, in welches ein übersponnener Kupferdraht eingekittet war. An dem unteren Ende des Drahtes war eine quadratische Platinplatte von 15^{mm} Seite angelöthet. Es versteht sich von selbst, daß der aus dem Glasrohr hervorragende Theil des Kupferdrahtes sammt der Löthstelle hinlänglich stark mit Kitt überzogen ist, so daß das Kupfer durchaus nicht mit der Flüssigkeit in Berührung kommen kann. Die Platinplatten, welche den Zinkseiten des Cylinders gegenüber stehen sollen, haben eine horizontale Lage, während diejenigen, welche den kupfernen Grundflächen gegenüber zu stehen bestimmt sind, eine verticale Stellung haben. Die Enden der oben aus den Glasröhren hervorragenden Drähte waren mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

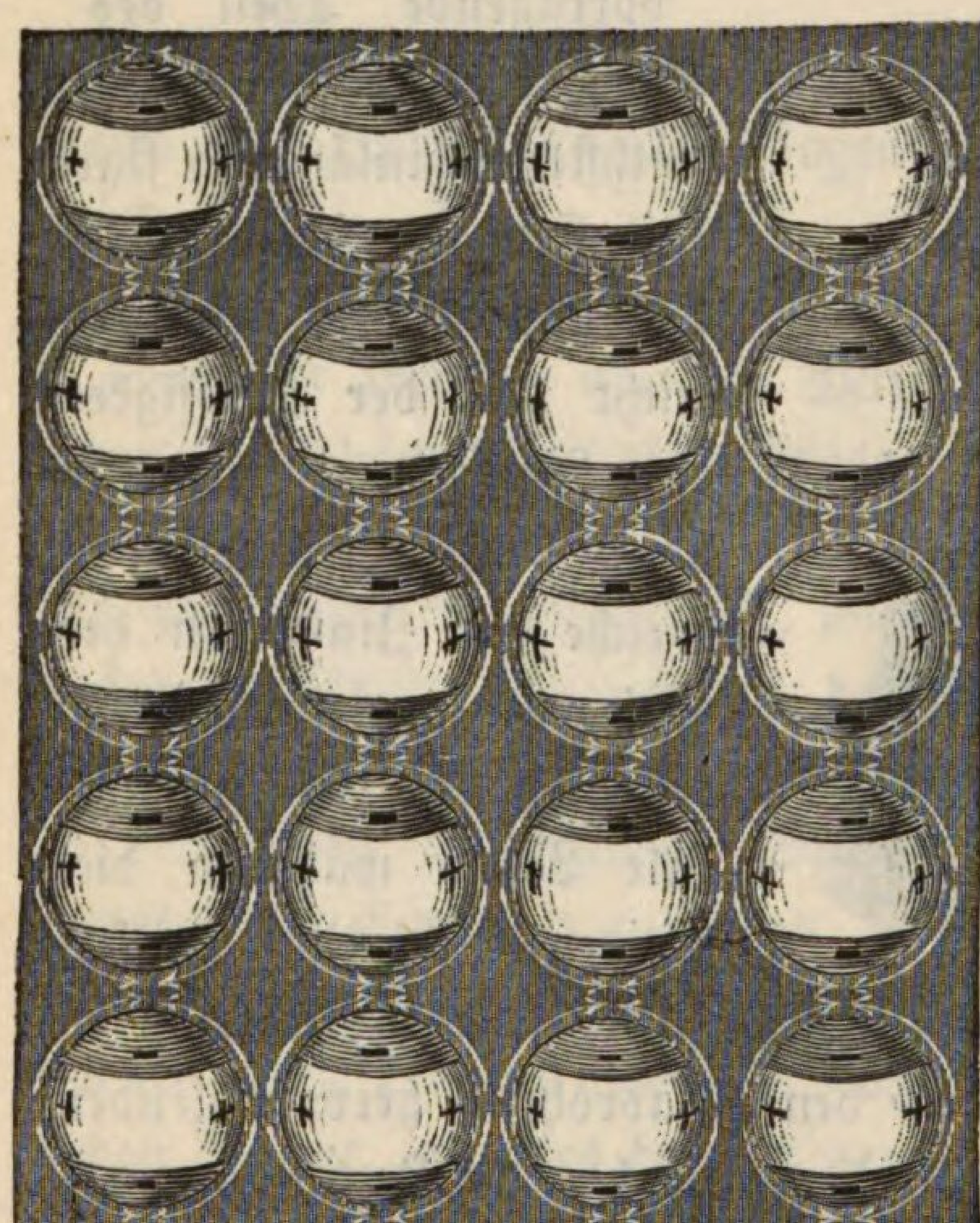
Die in unserer Figur dargestellte Anordnung gab in der Richtung, welche durch die Pfeilchen an den Zuleitungsdrähten angedeutet ist, einen Strom, welcher einen Ausschlag der Multiplicatornadel um 15 bis 20^{0} bewirkte. — Waren der Mantelfläche gegenüber zwei horizontale Platinplatten so

angebracht, daß die eine eben so hoch über dem Höhenmittel des Cylinders sich befand, als die andere unter demselben angebracht war, so erhielt man gar keinen Strom; wurden beide Platten bei unveränderter Entfernung in die Höhe gezogen, so zeigte sich ein schwacher Strom, der im Multiplicator einen Ausschlag von 5 — 10° bewirkte. Eben solche schwache Ausschläge erfolgten, wenn zwei verticalstehende Ableitungsplatten so über die obere Kupferfläche angebracht wurden, daß sie ungleich weit von der Mitte derselben abstanden, daß also die eine dem Rande des Cylinders näher war als die andere.

Nun aber giebt jedes einzelne Bruchstück eines Muskels noch Ströme und zwar stets nach demselben Gesetze; wir müssen demnach annehmen, daß der Muskel aus einer ganzen Reihe elektromotorischer Elemente bestehe, von denen jedes einzelne in seiner Wirkungsweise durch das Kupferzinkschema in Fig. 302 versinnlicht werden kann.

Es ist gleichgültig, welche Form man für diese elektromotorische Muskelmolekeln annehmen will, nur müssen sie zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen; ferner müssen die Axen aller einzelnen Molekeln unter sich und zwar mit der Axe des Muskelbündels parallel seyn. Denken wir uns die elektromotorischen Muskelmolekeln kugelförmig, so stellt Fig. 305 nach der oben besprochenen Annahme schematisch einen Muskellängsschnitt dar. Die negativen Polarzonen sind dunkler, die positive Aequatorialzone ist heller gehalten. Die vertikale Begränzung stellt den Längsschnitt, die horizontale stellt den Querschnitt dar, der schraffirte Grund ist unwirksamer feuchter Leiter.

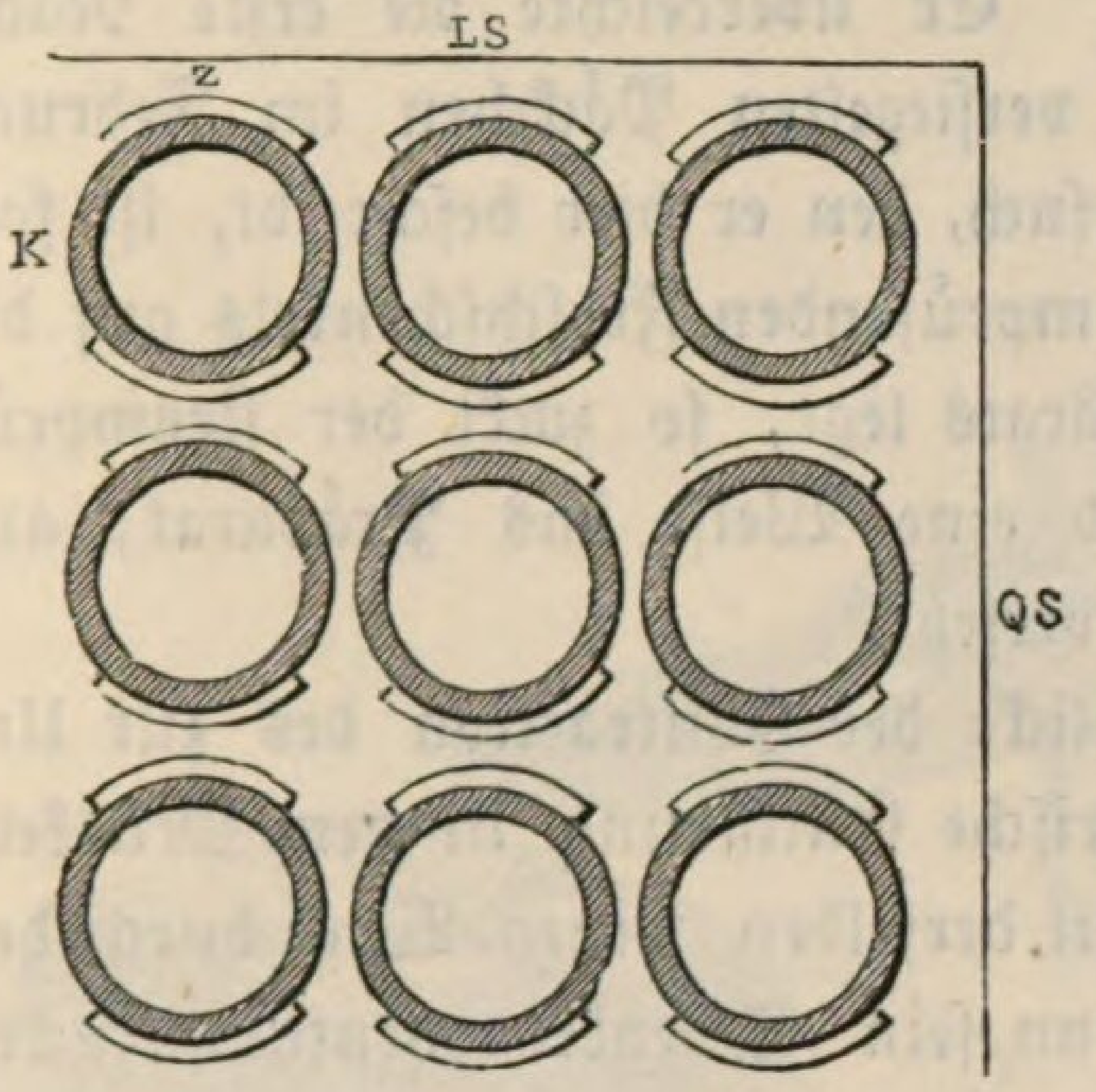
Fig. 305.



Auch diese Vorstellungsweise hat Du Bois an einem Zinkkupferschema geprüft; er ließ Röhren aus Kupferblech 11mm im Durchmesser ziehen und dem Mantel derselben entlang, einander diametral entgegengesetzt, zwei Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren dadurch in vier gleich breite Streifen, abwechselnd von Zink und Kupfer, getheilt war. Die Röhren wurden senkrecht auf ihre Axe in lauter 12,5mm lange Stücke geschnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnißt und die Elemente, 72 an der Zahl, mit ihren

kreisförmigen Rändern, sämmtlich in etwa 1^{mm} Entfernung von einander, in 6 Reihen auf ein Brettchen von 145^{mm} Länge und 85^{mm} Breite so aufgekittet, daß ihre Zinkseiten sämmtlich der langen, ihre Kupferseiten sämmtlich der kurzen Seite des Brettes zugekehrt waren. Fig. 306 stellt ein Stück dieser Vorrichtung im Grundriß von unten gesehen dar.

Fig. 306.



Das Brettchen, welches die 72 Elemente trug, war gefirnißt und an seiner oberen Fläche mit einem Griff versehen, mittelst dessen dasselbe in einen 182^{mm} langen, 119^{mm} breiten und 6^{mm} hoch mit Wasser gefüllten Trog eingesenkt wurde. Beim Einsenken stieg natürlich das Wasser im Troge, weil die im Innnern der Röhrchen enthaltene Luft nicht entweichen konnte.

Diese Vorrichtung gab nun zwischen Längs- und Querschnitt 20° Ablenkung, und als die Ableitungsplatten vor dem Längsschnitt allein oder vor dem Querschnitt allein sich befanden, 8 bis 10° in dem durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten Sinne.

Aus diesen Untersuchungen geht nun hervor:

1) daß der elektromotorische Muskel fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu denken ist;

2) daß jeder Strom, wie er auch von einem thierischen Erreger gewonnen sey, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm, betrachtet werden müsse.

Einfluß der Zusammenziehung auf den Muskelstrom. Wie 291
wir bereits oben gesehen, hat Matteucci gefunden, daß bei tetanisirten Fröschen der Strom fehle, später sprach er sich dahin aus, daß der tetanische Zustand den Strom der Muskeln nur schwäche. Er hatte also richtig den Einfluß der Zusammenziehung des Muskels auf den Strom beobachtet, war aber so wenig im Stande, diese Entdeckung zu benutzen und zu verfolgen, daß er alsbald ausgedehnte Versuchsreihen mit ganzen Froschsäulen anstellte, welche zeigten, daß der Froschstrom während der Zusammenziehung an Größe zunehme. In seinen »Leçons sur les phénomènes physiques des corps vivants«, welche 1847 erschienen, sagt er endlich auf Seite 277, daß, wenn während

der Contractionen keine Unterbrechung oder irgend eine andere Veränderung in der Kette vorgeht, die Galvanometernadel gar keine Variation erfährt. Die kleinen positiven oder negativen Schwankungen der Nadel, welche man manchmal beobachte, seyen zufälligen Störungen zuzuschreiben.

Nicht besser weiß Matteucci die von ihm gemachte Entdeckung der secundären Zuckung zu benutzen. Er überreichte die erste Nachricht von dieser Entdeckung in einem versiegelten Päckchen im Februar 1842 der Pariser Akademie. Der Versuch, den er hier beschreibt, ist folgender: Wenn man den Nerv eines stromprüfenden Froschschenkels auf die Schenkel eines gewöhnlichen Froschpräparats legt, so zuckt der stromprüfende Schenkel, wenn man auf irgend eine Weise das Präparat, auf welchem sein Nerv liegt, in Zuckungen versetzt.

Becquerel schloß, daß im Augenblicke der Contraction des zur Unterlage dienenden Präparates eine elektrische Entladung in den Muskeln vor sich gehen müsse, und daß ein Theil derselben seinen Weg durch den aufgelegten Nerven nehme, worauf denn sein Schenkel ebenfalls zucken muß.

Anfangs neigte sich Matteucci ebenfalls dieser, wie wir sehen werden, nahe an die Wahrheit streifendenden Ansicht zu, und er stellte zu ihrer Begründung die Versuche an, welche eine Vermehrung der Stärke des Froschstromes im Augenblicke der Zusammenziehung nachweisen sollten, alsbald aber verließ er diesen Weg, um sich in einem Labyrinth von Verkehrtheiten zu verlieren.

Im Jahre 1845 puplicirte er in den »philosophical transactions« eine, diese Erscheinung besprechende Abhandlung, unter dem Titel »On Induced Contractions«. Hier sucht er den Beweis zu liefern, daß die secundäre Zuckung gar nicht elektrischen Ursprungs sey. Er betrachtet die besprochene Erscheinung als ein Inductionsphänomen der unbekannten Kraft, welche in den Nerven circulirt und die Muskelcontraction hervorruft!!

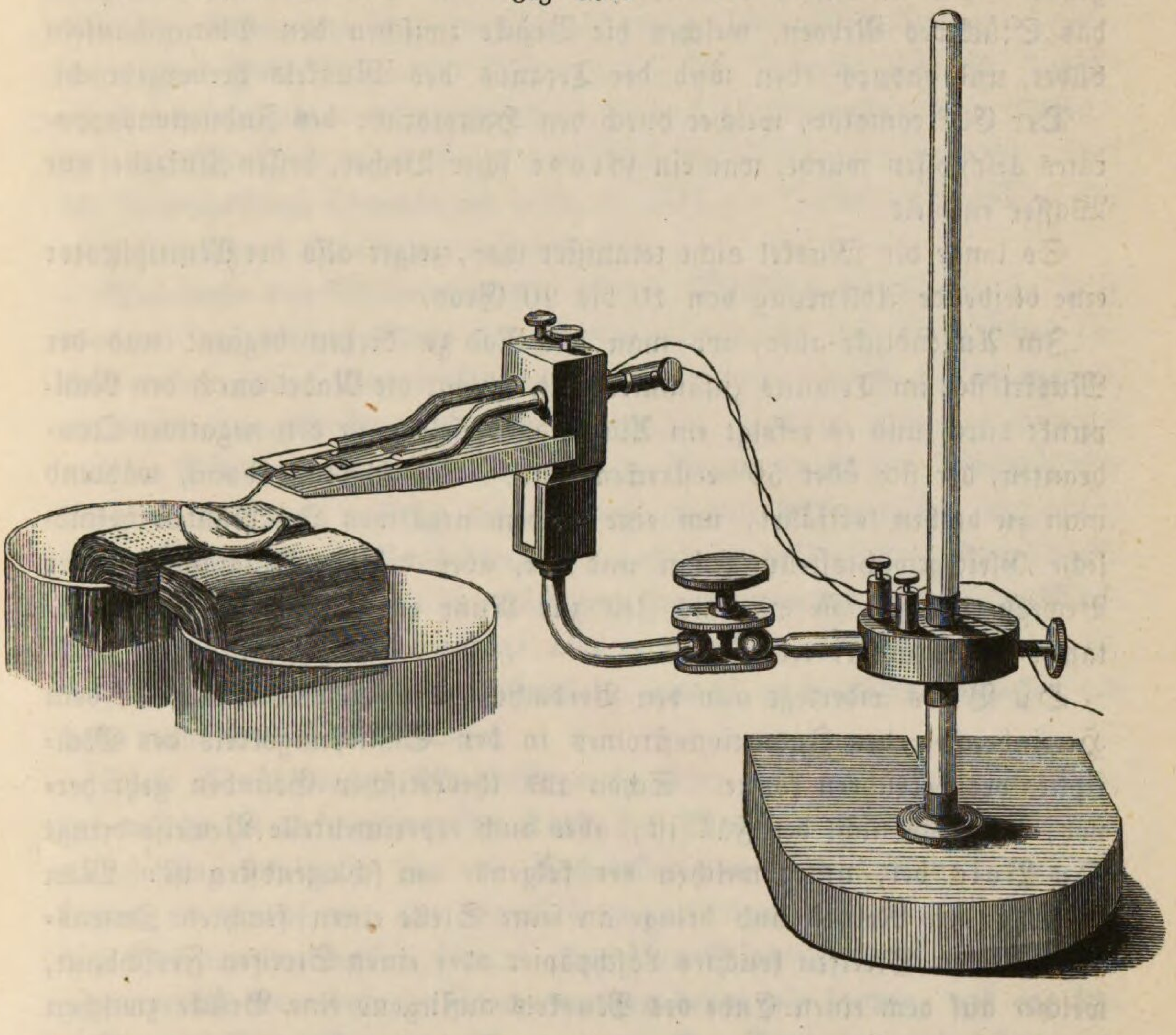
So verdanken wir denn Alles, was auf diesem Felde wirklich für die Wissenschaft gewonnen wurde, den Arbeiten Du Bois's. Wir wollen jetzt sehen, was er aus dem von Matteucci so schlecht benutzten Material zu machen wußte.

Schon in seinem »vorläufigen Abriß« theilt Du Bois mit, er habe sich durch Versuche überzeugt, daß in der That während heftiger und andauernder Zusammenziehung der Strom zwar bei weitem nicht verschwindet, allein doch merklich an Intensität abnimmt.

Fig. 307 stellt die Vorrichtung dar, deren sich Du Bois bediente, um den Grundversuch dieses Gebietes anzustellen. Der Gastroknemius wird

auf die Bäusche gelegt und sein Nerv über zwei Platinschäufelchen ausgebreitet, welche in Messingstäbchen eingelassen sind. Diese Messingstäbchen gehen durch einen Klotz von Elfenbein hindurch; sie können vor- und rückwärts geschoben, und in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden. Am hintern Ende tragen diese Stäbchen Hülsen, in welche Drähte eingeschraubt werden können, welche die Ströme eines Inductionsapparates zuführen können. Unter den Platinschäufelchen befindet sich eine vorn dünner geschliffene Glastafel, welche in den Elfenbeinklotz eingelassen ist. Sie hat zum Zweck, die Berührung der Platinschaufeln mit den Bäuschen zu verhindern, wenn man die Vorrichtung weiter herunter rücken muß.

Fig. 307.



Sobald der Muskel auf die Bäusche gelegt wird, fliegt die Nadel gegen die Hemmung und stellt sich endlich bei 10 bis 20 Grad ruhig ein. Nachdem das Nervenende so über die Schaufeln gelegt worden ist, daß es eine Brücke zwischen denselben bildet, wird nun der Muskel dadurch tetanisirt, d. h. in Tetanus versetzt, daß man das Unterbrechungsrad dreht, welches

in den Hauptstrom eines Inductionsapparates eingeschaltet ist, während die Drahtenden des Apparates Fig. 307 zu den Drahtenden des Nebendrahtes gehen. Die in diesem Nebendraht inducirten Ströme durchlaufen nun das Stück des Nerven, welches die Brücke zwischen den Platinschaufeln bildet, und dadurch eben wird der Tetanus des Muskels hervorgebracht.

Der Elektromotor, welcher durch den Hauptdraht des Inductionsapparates geschlossen wurde, war ein Grove'scher Becher, dessen Zinkzelle nur Wasser enthielt.

So lange der Muskel nicht tetanisirt war, zeigte also der Multiplicator eine bleibende Ablenkung von 10 bis 20 Grad.

Im Augenblicke aber, wo man das Rad zu drehen beginnt und der Muskel sich im Tetanus zusammenballt, schlägt die Nadel durch den Nullpunkt durch und es erfolgt ein Ausschlag derselben in den negativen Quadranten, der sich über 50^0 erstrecken kann. Sie schwingt dann, während man zu drehen fortfährt, um eine in dem negativen Quadranten befindliche Gleichgewichtsstellung hin und her, aber bei der Langsamkeit ihrer Bewegungen hat sie niemals Zeit zur Ruhe zu kommen, ehe der Tetanus des Muskels erlahmt ist.

Du Bois widerlegt nun den Verdacht, als ob diese Wirkung von dem Hereinbrechen des Inductionsstromes in den Schließungskreis des Multiplicators herrühren könne. Schon aus theoretischen Gründen geht hervor, daß das nicht der Fall ist, aber auch experimentelle Beweise bringt Du Bois bei, unter welchen der folgende am schlagendsten ist: Man entferne den Nerven und bringe an seine Stelle einen feuchten Zwirnsfaden, einen Streifen feuchtes Löschpapier oder einen Streifen Froschhaut, welcher auf dem einen Ende des Muskels aufliegend eine Brücke zwischen den Platinschaufeln bildet. Die leitende Verbindung zwischen dem Multiplicatorkreis und dem Kreis des Inductionsstroms ist nun ganz so hergestellt, wie vorher; wird aber nun das Unterbrechungsrad gedreht, so entsteht kein Tetanus im Muskel, und es zeigt sich keine Einwirkung auf den Stand der Multiplicatornadel.

Wird der Tetanus des Muskels dadurch hervorgebracht, daß man die Reizung des Nerven auf mechanischem Wege, durch Wärme, durch chemische Einwirkung u. s. w. hervorbringt, so erhält man ähnliche Wirkungen wie beim elektrischen Tetanisiren, nur in schwächerem Maaße.

Ferner hat Du Bois gezeigt, daß der Muskelstrom eines noch lebenden, mit Strychnin vergifteten Frosches in dem Augenblicke eine merkliche Abnahme erfährt, in welchem das Thier in Folge der Vergiftung in Tetanus geräth.

Suchen wir nun zu ermitteln, was die Bedeutung des Rückschlags der Nadel in den negativen Quadranten ist, welche erfolgt, wenn das Teta-

nisiren des Muskels beginnt. Beim ersten Anblick könnte man meinen, es entstehe während des Tetanus im Muskel ein Strom, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, den derselbe im ruhenden Zustande zeigt. Dem ist aber nicht so. Bevor das Tetanisiren beginnt, entwickelt sich in Folge der Galvanischen Polarisation der Platinplatten eine Ladung derselben, welche einen, dem primären entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt. Sobald nun der Muskelstrom in Folge des Tetanisirens so weit abnimmt, daß der Ladungsstrom überwiegend wird, so muß die Nadel natürlich in den entgegengesetzten Quadranten überschlagen.

Will man den Strom des tetanisirten Muskels rein haben, so muß man an irgend einer Stelle des Multiplicatorkreises ein Quecksilbernäpfchen anbringen. Unterbricht man hier die Kette durch Herausnehmen eines Zuleitungsdrahtes aus dem Quecksilber, so kann man den Muskel auf die Bäusche auflegen, ohne daß ein Strom durch den Multiplicator circulirt, und ohne daß sich eine Ladung an den Platinplatten entwickeln kann. Wird nun der Muskel tetanisirt und dann erst die Kette beim Quecksilbernäpfchen geschlossen, so erhält man den Strom des tetanisirten Muskels ganz rein, und zwar erfolgt nun der Ausschlag wirklich in dem gewöhnlichen Sinne des Muskelstromes, nur ist er ungleich schwächer als beim nicht tetanisirten Muskel.

Diese Abnahme des Muskelstromes rührt nur von einer Abnahme her, welche die elektromotorische Kraft der Muskeln während der Zusammenziehung erleidet. Um die Richtigkeit der Behauptung darzuthun, kommt es darauf an, die Einwürfe zu beseitigen, die man etwa gegen diese Behauptung machen könnte. Unter den Widerlegungen Du Bois's gegen verschiedene derartige Einwendungen heben wir hervor, daß die Abnahme des Muskelstromes nicht etwa von einer Vermehrung des Leitungswiderstandes des Muskels oder von der Veränderung seiner Lage auf den Bäuschen herrühre.

Das Erstere hat Du Bois durch die Methode der Compensation nachgewiesen. Zwischen die gewöhnlichen Bäusche wurde noch ein Zwischenbausch eingeschaltet; jeder der beiden Zwischenräume wurde mit einem Gastroknemius überbrückt und zwar so, daß der Strom des einen dem des andern entgegengesetzt war; sie wurden so aufgelegt, daß sich ihre Ströme möglichst vollständig compensirten. Wurde nun der eine oder der andere Muskel in der bekannten Weise tetanisirt, so erhielt stets der Strom des ruhenden Muskels das Uebergewicht, ein Resultat, welches sich nur durch Abnahme der elektromotorischen Kraft des tetanisirten Muskels, aber nicht durch die Vermehrung seines Leitungswiderstandes erklären läßt.

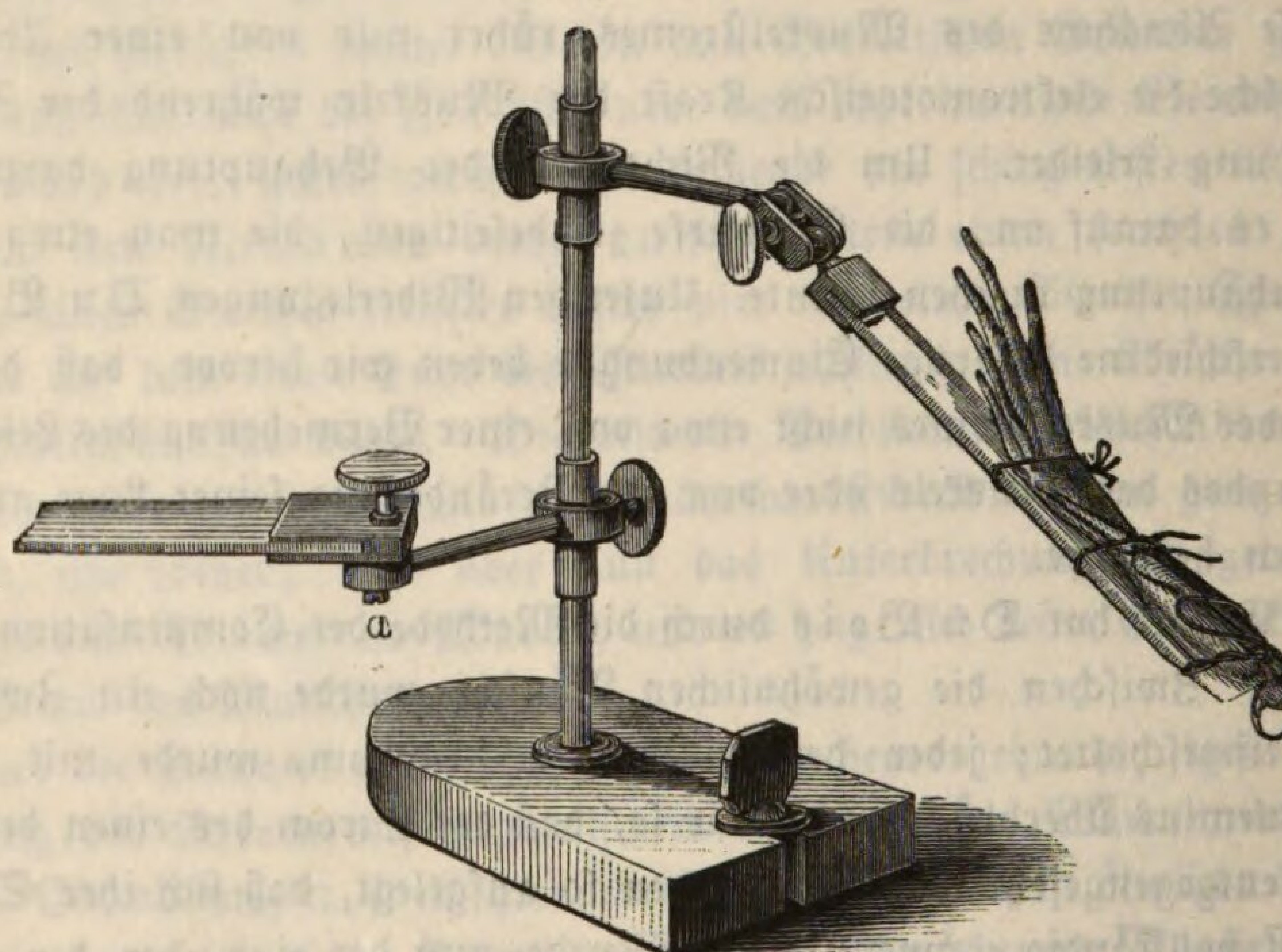
Um zu zeigen, daß nicht etwa eine Veränderung in der Lage des Muskels die Ursache dieser Stromschwächung sey, spannte Du Bois den

Muskel in ein entsprechendes Holzgestell ein, und zwar machte er die Spannung so stark, daß beim Tetanisiren des Muskels keine merkliche Formveränderung an demselben mehr vor sich ging; in dieser Weise wurde der Muskel auf die Bäusche aufgedrückt. Auch jetzt zeigte sich die Abnahme des Muskelstromes während des Tetanus.

292 **Die secundäre Zuckung.** Bei den Versuchen, welche wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben, war der Multiplicator das stromprüfende Mittel; wir wollen nun sehen, wie sich der stromprüfende Froschschenkel gegen die durch den Tetanus bewirkte Veränderung des Muskelstroms verhält. Wir können den Versuch in zweierlei Weise anstellen: entweder bleibt der Multiplicator noch im Schließungsbogen, so daß der Muskelstrom den Nerven des stromprüfenden Schenkels und den Multiplicator zu durchlaufen hat, daß man also die Angaben beider Rheoskope gleichzeitig erhält; oder man kann den Nerv des stromprüfenden Schenkels allein zur Schließung der Kette anwenden.

Im ersten Falle muß man einen Zwischenbausch anwenden. Die eine Lücke wird mit dem zu tetanisirenden Gastroknemius, die andere mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels überbrückt, der, wie Fig. 308 zeigt,

Fig. 308.



auf einer Glasplatte festgebunden, oder besser mit Kautschukringen befestigt, isolirt aufgestellt ist.

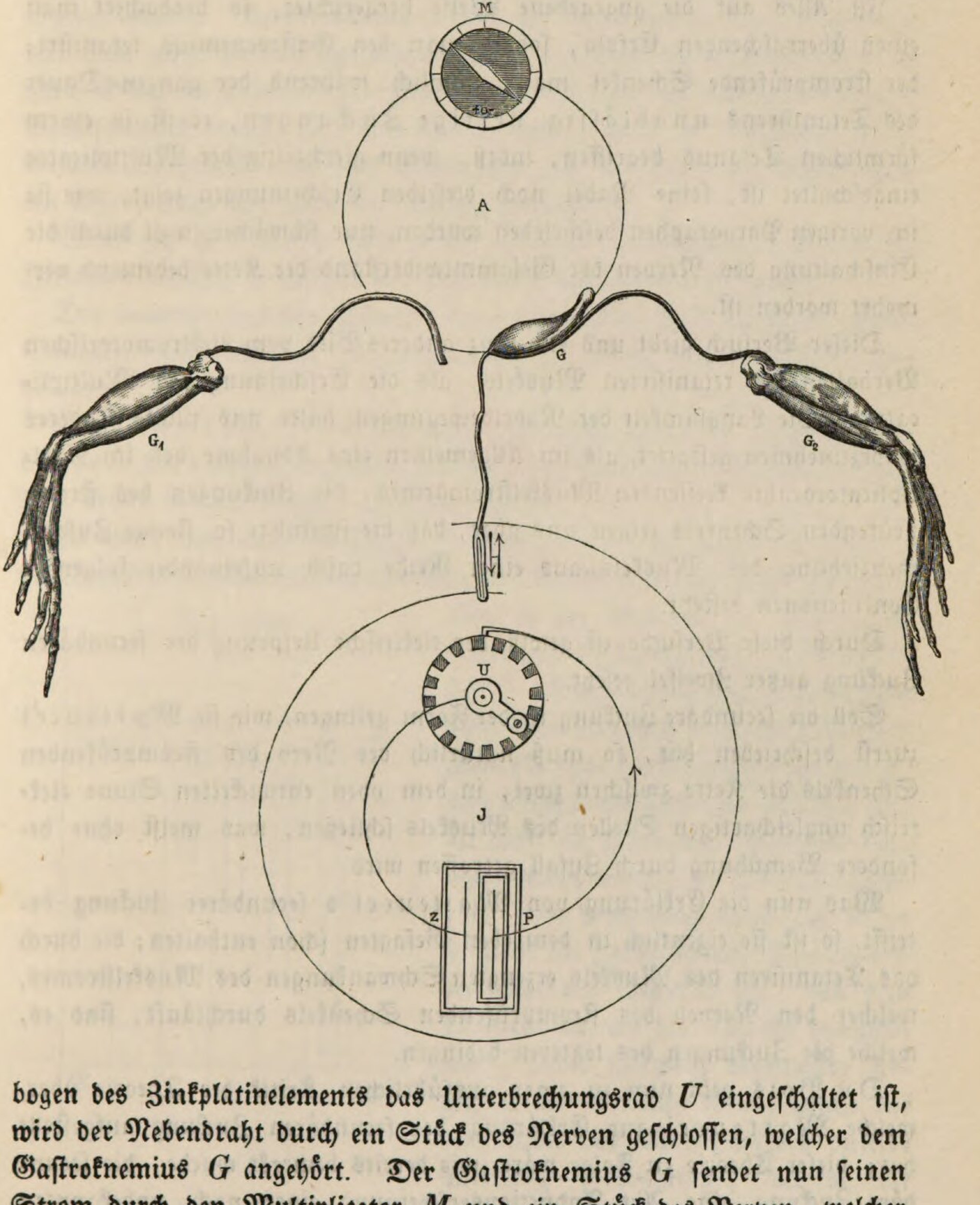
Soll der Strom nur durch den Nerv des stromprüfenden Schenkels geleitet werden, so hat man den Zwischenbausch nicht nöthig. Man überbrückt den Zwischenraum zwischen den Bäuschen auf der einen Seite mit

dem Muskel, auf der anderen mit dem Nerv des stromprüfenden Schenkels.

Man übersieht leicht, daß diese Form des Versuchs nichts anderes ist, als eine zweckmäßige Form der Anordnung, welche Matteucci zur Hervorbringung der secundären Zuckung anwandte.

Fig. 309 stellt schematisch die verschiedenen Anordnungen dar, durch welche man die secundäre Zuckung erzeugen kann. Während in den Schließungs-

Fig. 309.



bogen des Zinkplatinelements das Unterbrechungsrad U eingeschaltet ist, wird der Nebendraht durch ein Stück des Nerven geschlossen, welcher dem Gastroknemius G angehört. Der Gastroknemius G sendet nun seinen Strom durch den Multiplicator M und ein Stück des Nerven, welcher dem stromprüfenden Schenkel G_1 angehört. Man kann aber auch den

Multiplicator ganz aus dem Schließungsbogen weglassen, so daß der stromprüfende Schenkel G_1 das einzige Rheoscop für den Strom des Gastroknemius ist. Legt man den Nerven des stromprüfenden Schenkels an den Gastroknemius an, wie dieß in unserer Fig. 309 mit dem Nerven des Schenkels G_2 der Fall ist, so bildet das Nervenstück allein den Schließungsbogen für den Gastroknemius G und das ist die Form, wie Matteucci zuerst den Versuch anstellte.

Ist Alles auf die angegebene Weise hergerichtet, so beobachtet man einen überraschenden Erfolg, sobald man den Gastrocnemius tetanisirt; der stromprüfende Schenkel macht nämlich während der ganzen Dauer des Tetanisirens unablässig heftige Zuckungen, er ist in einem förmlichen Tetanus begriffen, indeß, wenn gleichzeitig der Multiplicator eingeschaltet ist, seine Nadel noch dieselben Erscheinungen zeigt, wie sie im vorigen Paragraphen beschrieben wurden, nur schwächer, weil durch die Einschaltung des Nerven der Gesammtwiderstand der Kette bedeutend vermehrt worden ist.

Dieser Versuch giebt uns ein ganz anderes Bild vom elektromotorischen Verhalten des tetanisirten Muskels, als die Erscheinung am Multiplicator. Die Langsamkeit der Nadelbewegungen hatte uns nichts Anderes wahrzunehmen gestattet, als im Allgemeinen eine Abnahme des im Multiplicatordrahte kreisenden Muskelstromarmes; die Zuckungen des stromprüfenden Schenkels zeigen uns aber, daß die scheinbar so stetige Zusammenziehung des Muskels aus einer Reihe rasch aufeinander folgender Contractionen besteht.

Durch diese Versuche ist gewiß der elektrische Ursprung der secundären Zuckung außer Zweifel gesetzt.

Soll die secundäre Zuckung in der Form gelingen, wie sie Matteucci zuerst beschrieben hat, so muß natürlich der Nerv des stromprüfenden Schenkels die Kette zwischen zwei, in dem oben entwickelten Sinne elektrisch ungleichartigen Stellen des Muskels schließen, was meist ohne besondere Bemühung durch Zufall getroffen wird.

Was nun die Erklärung von Matteucci's secundärer Zuckung betrifft, so ist sie eigentlich in dem eben Gesagten schon enthalten; die durch das Tetanisiren des Muskels erzeugten Schwankungen des Muskelstromes, welcher den Nerven des stromprüfenden Schenkels durchläuft, sind es, welche die Zuckungen des letzteren bedingen.

Du Bois geht nun zu einer ausführlichen Kritik der Theorie über, welche Matteucci zur Erklärung der secundären Zuckung aufgestellt hat; dieser Theorie zu Folge wäre, wie bereits bemerkt wurde, die secundäre Zuckung eine Art Inductionserscheinung einer noch unbekannten Kraft, welche selbst durch nichtleitende Substanzen hindurch wirken soll.

Am Ende dieser Kritik erklärt aber Du Bois, daß er gewissermaßen gegen Leichen gekämpft habe. Matteucci hat unterdessen seine Ansicht über die Natur der secundären Zuckung abermals geändert; dem compte rendu vom 15. März 1847 zu Folge, welches Du Bois während des Druckes jener Kritik zukam, scheint sich Matteucci jetzt vorzustellen, daß der Muskel im Augenblicke der Zusammenziehung, gleich dem elektromotorischen Organe eines Zitterfisches, dem stromprüfenden Nerven einen Schlag ertheile. Ferner scheint er noch der Meinung zu seyn, obschon sie hier nicht mehr deutlich ausgesprochen ist, daß man die secundäre Zuckung durch Schichten nicht leitender Flüssigkeiten hindurch zu verfolgen vermöge. Wahrscheinlich indeß, fügt Du Bois hinzu, wird er nächstens, seiner Gewohnheit gemäß, auch diese Behauptung in der Stille zu Boden gleiten lassen, wozu hier schon der Anfang gemacht ist.

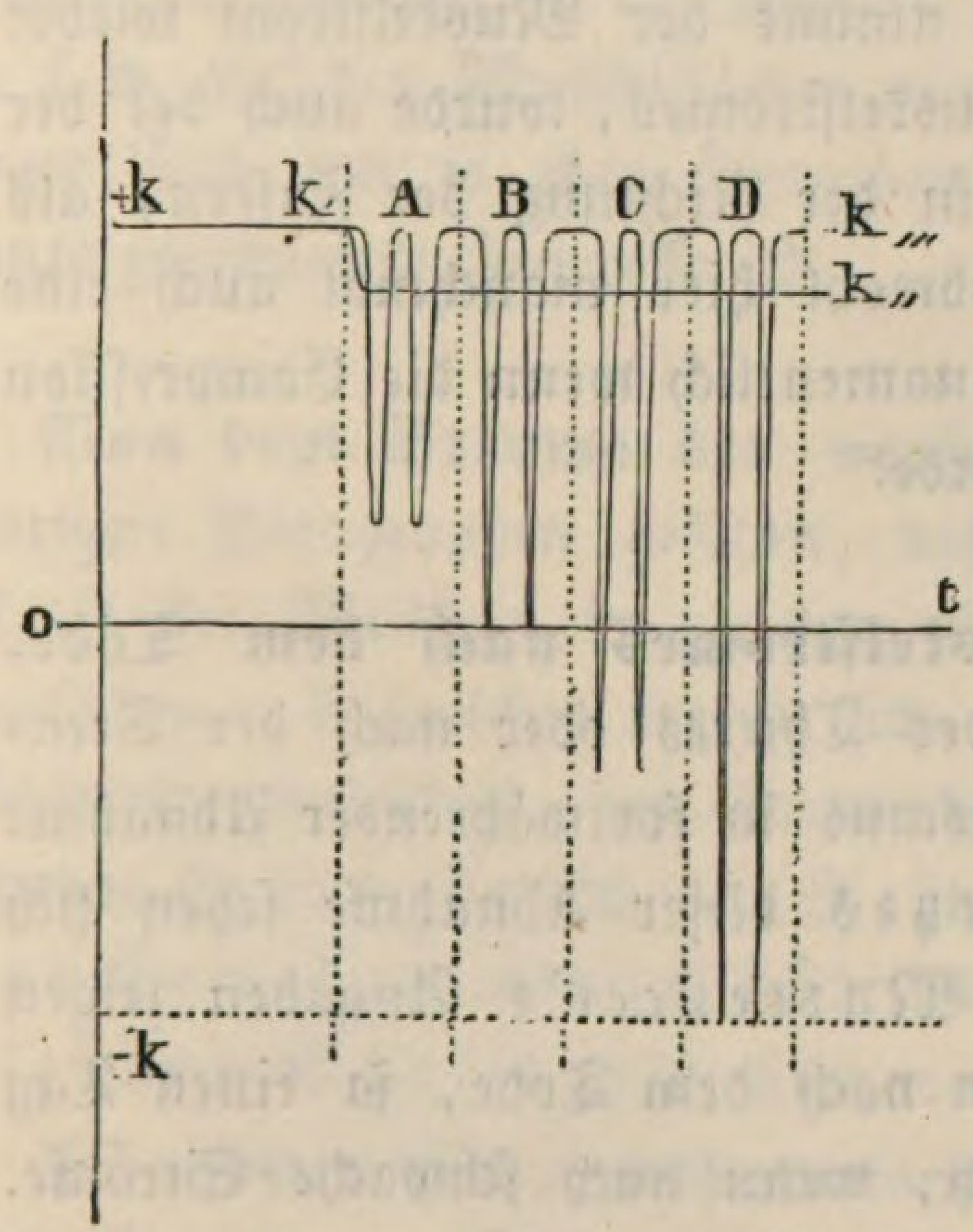
Wenn sich Du Bois nicht weiter auf eine Widerlegung dieser neuen Irrlehren einläßt, so müssen wir ihm darin vollkommen beistimmen.

Der secundär zuckende Schenkel kann durch seine Zuckung einen dritten Schenckel zucken machen, wie die Zuckung des ersten die des zweiten hervorruft.

Matteucci und Du Bois haben Versuche über diese Zuckungen höherer Ordnung angestellt, und zwar ist Matteucci bis zur vierten, Du Bois bis zur fünften Ordnung gelangt.

Es bleibt nun noch die Frage zu beantworten, ob jeder einzelnen blitzschnellen Muskelcontraction bloß eine Abnahme des Stromes entspricht, oder ob im Moment der Contraction eine wirkliche Umkehr des Stromes stattfindet. Die Kurve in Fig. 310 versinnlicht, wie man sich etwa die Stromesschwankungen des Muskels beim Tetanisiren vorzustellen habe; die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Stromdichtigkeit proportional; ot ist die Abscissenaxe. Die horizontale Linie von k bis k, stellt die gleichbleibende Stromstärke des ruhenden Muskels dar; von dem Moment an, wo der Muskel tetanisirt wird, findet stoßweise bedeutende Abnahme des Stromes Statt, welche auf die Nadel des Multiplicators dieselbe Wirkung hervorbringt, als ob die Stromstärke stetig kleiner geworden wäre, wie es die Linie k, $k_{,,}$ darstellt. Es ist aber nun die Frage, ob bei diesen Schwankungen der

Fig. 310.



Strom nur abnimmt, wie in der Abtheilung *A* dargestellt ist, oder ob der Strom bei jeder Contraction bis auf Null herabsinkt, wie bei *B*, oder endlich sogar in die entgegengesetzte Richtung überschlägt, wie dies bei *C* und *D* dargestellt ist. Du Bois hat sich bis jetzt vergebens bemüht, diese Frage zur Entscheidung zu bringen, er erhielt nur negative Resultate, welche keinen sichern Schluß zulassen.

Du Bois formulirt die Resultate dieser Untersuchungen in folgender Weise:

»Die Kurve der elektromotorischen Kraft des Muskels, bezogen auf die »Zeit, erleidet im Augenblicke der Zusammenziehung eine äußerst schnelle »Schwankung im negativen Sinne, von welcher ungewiß ist, bis zu wel»cher Tiefe sie sich erstreckt, obschon es, nach den vorliegenden Thatsachen »zu schließen, allerdings nicht wahrscheinlich ist, daß sie unter der Abscissen»Axe hinabreicht.«

293 **Einfluß der Ausdehnung und der Zusammendrückung des Muskels auf die Stärke seines Stromes.** Du Bois stellte eine besondere Versuchsreihe an, um zu ermitteln, welchen Einfluß die Streckung und Compression des Muskels auf den Strom desselben habe. Er ließ aber diese Untersuchung später im Drange anderer Fragen liegen, da sie sich weniger ergiebig zeigte als ihr Anfang versprach. Wir begnügen uns, hier nur die Hauptresultate derselben kurz zu bezeichnen: Durch die Streckung des Muskels, welche mittelst einer eigenthümlichen Streckvorrichtung hervorgebracht wurde, wird eine Schwächung des Muskelstroms bewirkt; beim Nachlassen der Streckung nimmt der Muskelstrom wieder zu. Dasselbe, nämlich Abnahme des Muskelstromes, wurde auch bei der Compression des Muskels sowohl in der Richtung der Fasern, als auch parallel mit denselben beobachtet, obwohl hier manchmal auch eine Vermehrung der Stromgröße stattfand, namentlich wenn die Compression parallel mit den Fasern bewerkstelligt wurde.

294 **Abnahme und Dauer des Muskelstromes nach dem Tode.** Der Muskelstrom ist nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Muskels vom Gesammtorganismus in fortwährender Abnahme begriffen. Der Ermittelung des Gesetzes dieser Abnahme setzen sich große Schwierigkeiten entgegen. Nach Matteucci's Angaben zeigen Froschpräparate fünf bis sechs Stunden nach dem Tode, ja einen Tag lang in Wasser aufbewahrt, immer noch, wenn auch schwache Ströme. Am raschesten ist die Abnahme in den ersten 8 bis 10 Minuten, so daß der Multiplicatorausschlag nach dieser Zeit nur noch halb so groß erscheint als im Anfang.

Matteucci fand ferner, daß die Dauer des Muskelstromes um so kürzer sey, je höher die Thiere auf der Rangleiter organischer Wesen ständen. So nimmt z. B. die elektromotorische Kraft eines Kaninchenmuskels rascher, die eines Froschmuskels bedeutend langsamer ab, als die eines Taubenmuskels. Diesem Satze fügt Matteucci noch den hinzu, daß die ursprüngliche Kraft des Stromes im lebenden Thiere das umgekehrte Gesetz befolge, d. h., daß sie bei warmblütigen Thieren größer sey als bei kaltblütigen.

Du Bois sagt nun, er sey keineswegs abgeneigt, an das Daseyn eines solchen Unterschiedes zwischen der ursprünglichen Stromkraft warm- und kaltblütiger Muskeln zu glauben, der experimentellen Begründung dieser Ansicht stellten sich aber sehr bedeutende Schwierigkeiten entgegen, welche Matteucci weit entfernt sey, überwunden zu haben.

Die Abnahme des Muskelstromes nach dem Tode betreffend, hat Du Bois gefunden, daß die elektromotorische Kraft des Muskels gleichen Schritt gehe mit seiner Erregbarkeit, daß also der Muskelstrom in demselben Maaße abnehme, wie die Reizbarkeit des Muskels, ferner daß die Todtenstarre die Gränze sey, welche dem Muskelstrome gesetzt ist. Die Erscheinung des Muskelstromes ist dadurch unmittelbar als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet. Der wegen Todtenstarre verschwundene Strom kehrt unter keinerlei Umständen zurück. Faulende Glieder, nach Lösung der Todtenstarre, wirken nicht merklich elektromotorisch.

Du Bois bespricht nun den Einfluß krankhafter Zustände und verschiedener Todesarten des Thieres, den Einfluß verschiedener Vergiftungen u. s. w. auf den Muskelstrom; wir können dies, ohnehin nicht sehr fruchtbare Feld um so eher übergehen, als es überhaupt für die Physik von untergeordnetem Interesse ist.

Von dem Strome der verschiedenen Gewebe. Wir haben im 295
vorigen Paragraphen gesehen, daß nach dem Tode die elektromotorische Kraft der Muskeln in gleichem Maaße abnimmt, wie die Erregbarkeit derselben. Aehnliches ergiebt sich, wenn wir verschiedene Gewebe unter einander vergleichen, der Strom derselben ist um so schwächer, je weniger reizbar sie sind; durch die Reihe der zusammenziehungsfähigen Gewebe hindurch hält das elektromotorische Vermögen gleichen Schritt mit der mechanischen Leistungsfähigkeit.

Am größten ist die elektromotorische Kraft der quergestreiften Muskeln des Stammes; nach ihnen kommt der Herzmuskel, welcher ein Zwischenglied bildet zwischen den quergestreiften Muskeln und den glatten Geweben, welche nur schwache Ströme geben.

Die elektromotorische Wirksamkeit der Herzmuskelsubstanz hat zuerst Matteucci nachgewiesen. Er experimentirte mit einer Säule von querdurchschnittenen Taubenherzen. Du Bois machte den Versuch an einzelnen Herzen von Fröschen, dem Erdmolch (Salamandra maculata), dem Meerschweinchen und der Hausmaus; der künstliche Querschnitt ist negativ gegen die Außenfläche. Auch unverletzte Herzen gaben lebhafte Ausschläge und zwar stellt die Spitze des Herzens hier den natürlichen Querschnitt war.

Weit weniger stark ist der Strom vom Muskelmagen der Vögel. Ein Taubenmagen mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt gab im richtigen Sinne einen ersten Ausschlag von 25° am Du Bois'schen Multiplicator.

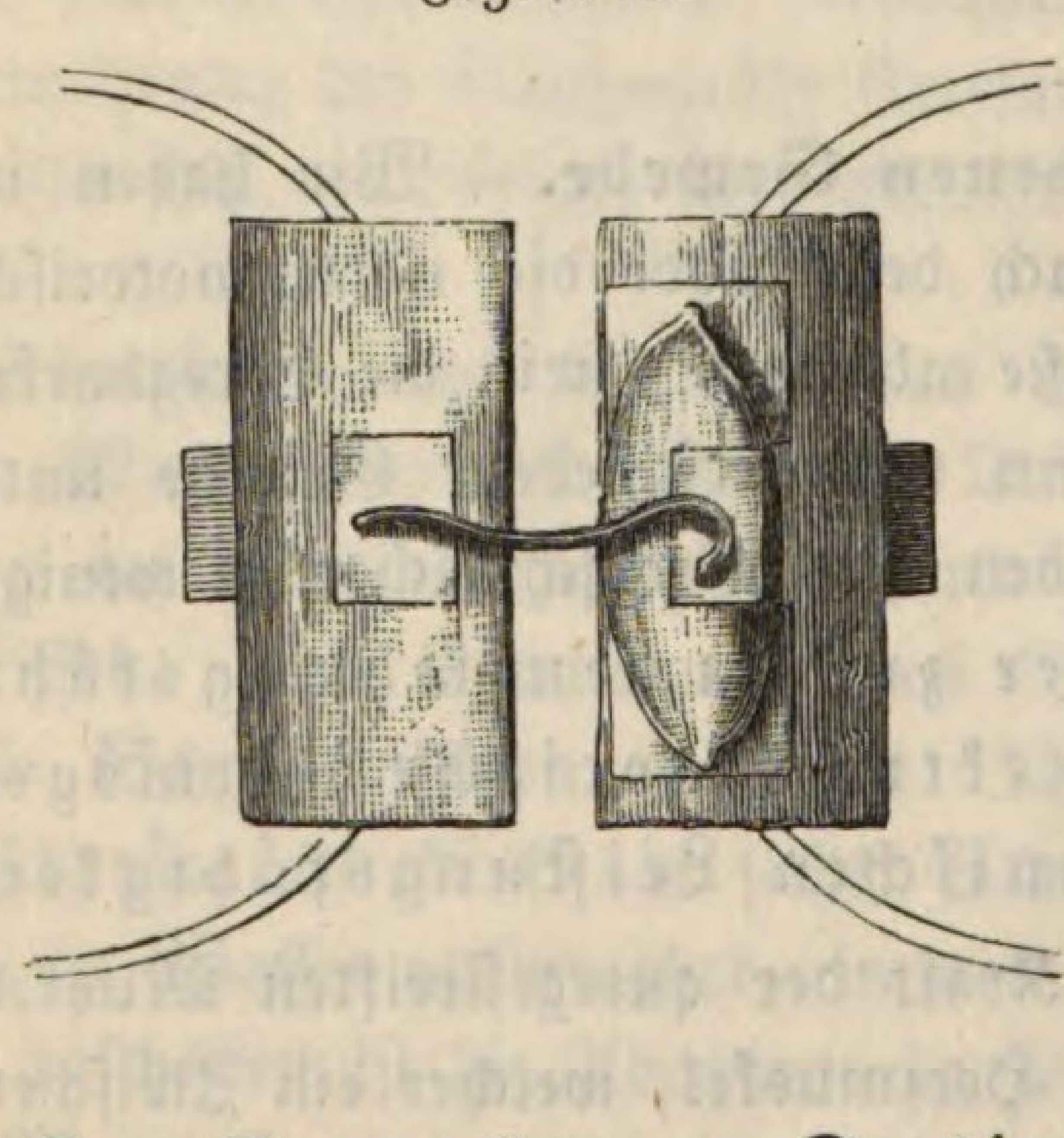
Die Wandung des Magens oder des Darmes vom Frosche giebt, mit einem Punkte ihrer äußeren Fläche gegen einen beliebig zur Axe des Darmes laufenden Schnittrand aufgelegt, schwache Wirkungen innerhalb der ersten 15° im Sinne des Gesetzes des Muskelstromes.

Eine Sehne vom Kaninchen mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt gab nur 5, höchstens 8 Grad Ausschlag, der zwar meist wie beim Muskel gerichtet ist, allein sehr leicht unregelmäßig wird.

Stücke von Lunge, Leber, Niere gaben ebenfalls nur sehr schwache Ströme, die sich dem gemeinsamen Gesetze des Nerven- und Muskelstromes nur mangelhaft unterordnen.

Die Berührung verschiedener Gewebe zeigt sich elektromotorisch unwirksam. Will man den Versuch anstellen, so ist klar, daß die beiden Gewebe so gelagert seyn müssen, daß jedes einzelne an und für sich durch die ihm eigenthümlichen elektromotorischen Kräfte nicht auf die Nadel einzuwirken vermöge. Hat man es z. B. mit Nerv und Muskel zu thun, so wird man ihnen die in Fig. 311 dargestellte Lage anweisen müssen. Du Bois hat die elektromotorische Unwirksamkeit der Berührung verschiedener Gewebe nachgewiesen an allen möglichen Combinationen vom Muskel, Nerv, Sehne, Haut und Knochen. Dadurch ist nun natürlich auch Volta's Erklärung der Zuckung ohne Metall (Seite 774) auf das vollständigste widerlegt.

Fig. 311.



296 **Der Nervenstrom.** Da die Vorstellung von der Identität des Nervenagens mit der Elektricität schon eine alte und viel verbreitete ist, so ist

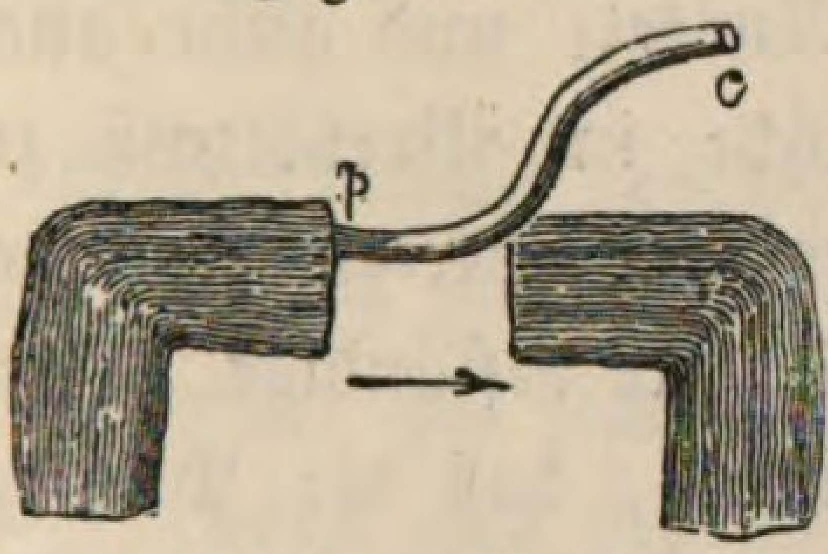
begreiflich, daß mannichfache Bestrebungen gemacht wurden, elektrische Wirkungen von den Nerven zu erhalten. Du Bois hat die hierher gehörigen historischen Notizen zusammengestellt; wir übergehen sie hier. — Nachdem Matteucci in Beziehung des elektrischen Verhaltens der Nerven an verschiedenen Orten viel Verworrenes und Widersprechendes publicirt hatte, sagt er im Jahre 1844 (Annales de Chimie et de Physique 3 série t. XII. p. 579): Nous croyons être autorisés à conclure qu'il n'existe aucune trace de courants électriques dans les nerfs des animaux vivants, appréciable à l'aide des instruments que l'on possède aujourd'hui.

So bleibt denn Du Bois allein die Ehre, den Nervenstrom entdeckt zu haben. Bereits in seinem »vorläufigen Abriß« hat er die elektromotorische Wirkung des Nervus ischiadicus vom Frosch und vom Kaninchen besprochen.

Folgendes ist das Verfahren, welches Du Bois anwandte, um den Nervenstrom zu beobachten und seine Gesetze zu ermitteln.

Ein aus dem Nervus ischiadicus eines frisch getödteten Frosches so eben ausgeschnittenes Stück wird so auf die Bäusche gelegt, daß es einerseits mit dem natürlichen Längsschnitt, andererseits mit dem künstlichen Querschnitt berührt wird, wie dies Fig. 312 angedeutet ist. Auf diese Weise erfolgt ein Ausschlag, der unter Umständen 25 bis 30° betragen kann, sich aber gemeiniglich auf 15 bis 18° beläuft und welcher ohne Ausnahme vom Punkt des natürlichen Längsschnittes durch den Multiplicatordraht zum künstlichen Querschnitt, also wie beim Muskel, gerichtet ist und eine beständige Ablenkung von 5 bis 8° zurückläßt.

Fig. 312.



Die Bäusche sind bei diesem Versuch natürlich mit Eiweißhäutchen versehen; auf demjenigen, der mit dem Längsschnitt berührt werden soll, befindet sich außerdem noch ein Stückchen Glimmer oder Wachstaffent, auf welches man das Nervenende auflegt, dessen Querschnitt nicht ins Spiel kommen soll.

Es ist in Betreff der Stromrichtung völlig gleichgültig, welchen der beiden künstlichen Querschnitte man auflege, ob den dem Ursprunge (in den Figuren mit *c* bezeichnet), oder den der Ausbreitung (*p*) der Nerven näher gelegenen, wie in Fig. 313 angedeutet ist. Man kann auch den Nerven in der Mitte seiner Länge zusammenfalten und die beiden Querschnitte gleichzeitig auf den einen, die Schlinge auf den anderen Bausch auflegen, wie Fig. 314 f. S.; man erhält einen starken Strom im richtigen Sinne.

Fig. 313.



Wird der Bauſch beiderſeits mit künſtlichem Querſchnitt berührt, wie Fig. 315, ſo bleibt die Nadel ungeſtört, wenn der Verſuch gut gelingt.

Fig. 314.

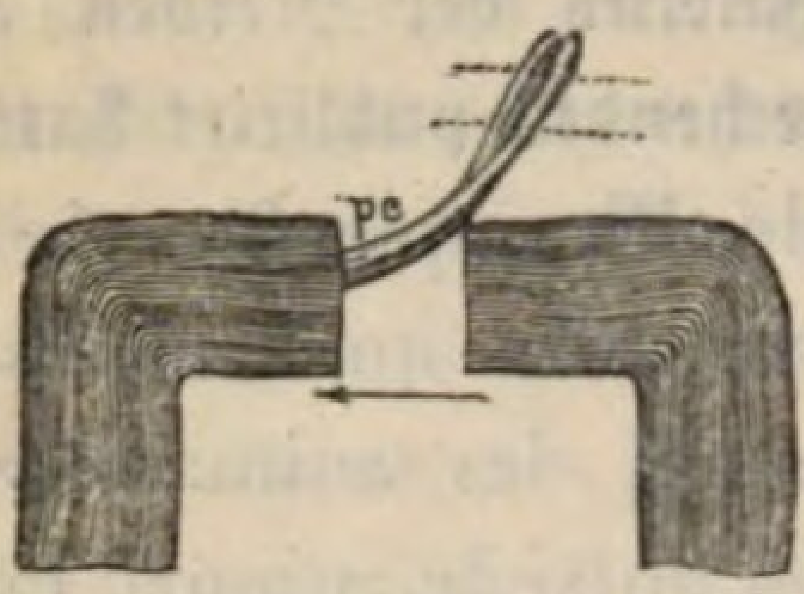
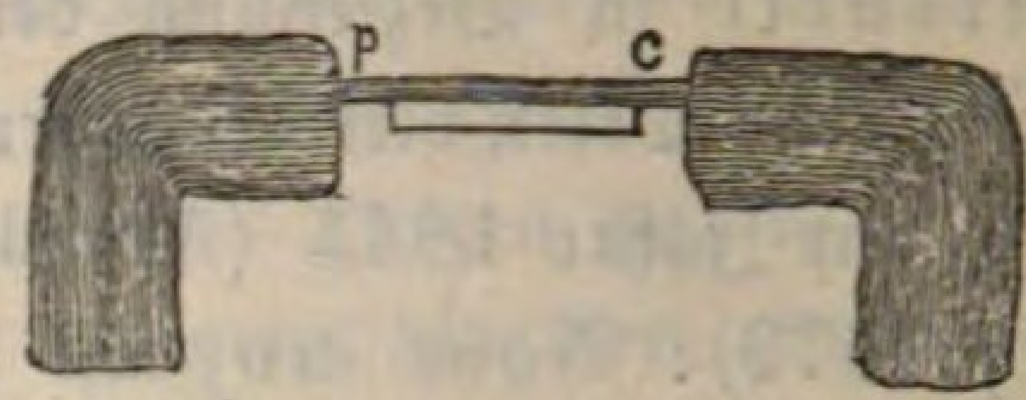


Fig. 315.

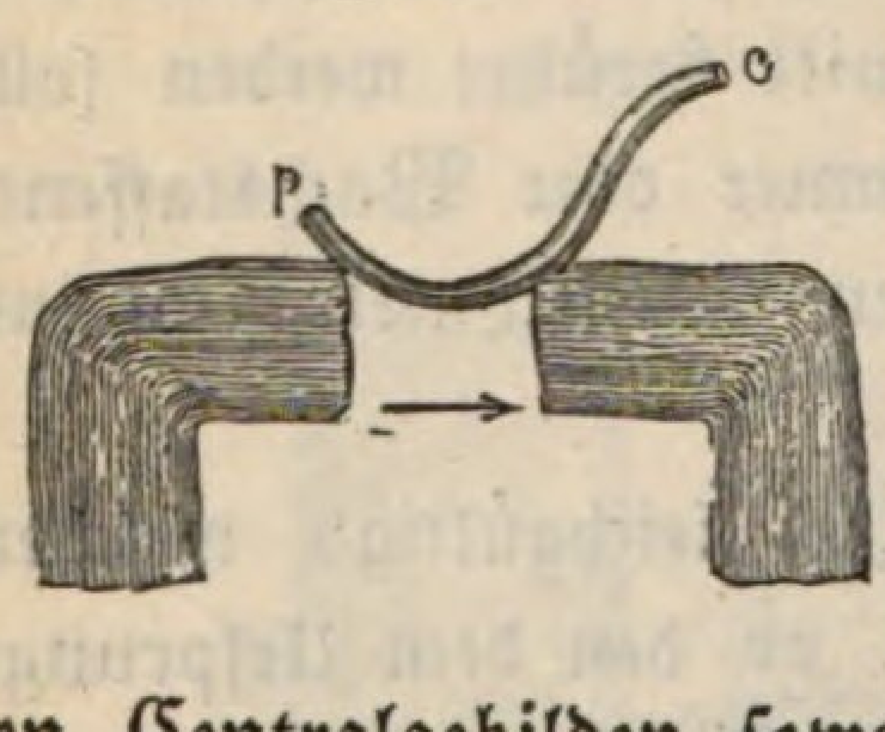


Meiſtens aber erhält man ſchwache Ablenkungen, jedoch höchſtens bis zu 8°, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, was ſich leicht aus der Schwierigkeit erklärt, die Bäuſche **nur** mit Querſchnitt zu berühren.

Wegen der Kleinheit des Nervenquerſchnittes kann natürlich nicht die Rede davon ſeyn, das elektromotoriſche Verhalten verſchiedener Punkte des Querſchnittes gegen einander zu unterſuchen, die Erforſchung der einzelnen Punkte des Längsſchnittes bietet dagegen keine Schwierigkeit dar. Sie geſchieht auf die nämliche Weiſe, wie beim Muskel, und giebt auch gleiche Reſultate. Man erhält Wirkungen, welche im Verhältniß zu den beim Auflegen vom Längs- und Querſchnitt beobachteten ſehr gering ausfallen. Die Ausſchläge betragen 6 bis 7°, die beſtändige Ablenkung 2 bis 4°. Sie ſind im Allgemeinen ſo gerichtet, daß die Punkte, welche näher bei der Mitte der Länge des Nervenſtücks liegen, poſitiv ſind gegen die näher gegen die Enden hin liegenden. Fig. 316.

Werden zwei Punkte des Nerven aufgelegt, welche gleich weit von der Mitte entfernt ſind, ſo beobachtet man keine elektromotoriſche Wirkung.

Fig. 316.



Das iſt die Erſcheinungsweiſe des Nervenſtromes an den gemiſchten Nervenſtämmen der Extremitäten, als deren Repräſentant der Iſchiadicus gewählt wurde, weil er wegen ſeiner Länge zum Verſuch der bequemſte iſt. Es bleibt jetzt noch übrig, das Verhalten des Nervenſtromes an anderen Theilen des Nervenſyſtems, an den Centralgebilden ſowohl, als auch an den reinen Empfindungs- und Bewegungsnerven zu unterſuchen.

Was die reinen Bewegungs- und Empfindungsnerven betrifft, ſo bieten die vorderen und hinteren Wurzeln der Nervenſtämme für die hinteren Extremitäten des Froſches, welche man leicht in 7 bis 8 Millimeter Länge erhält, eine willkommene Gelegenheit zur Erledigung dieſes Punktes. Eine ſolche Wurzel giebt mit Leichtigkeit 20 bis 25° Ausſchlag und 10° beſtändiger Ablenkung. **Das elektromotoriſche Verhalten** der

vorderen und hinteren Wurzeln bietet keinen Unterschied dar; wie bei den gemischten Nervenstämmen, so ist auch bei den reinen Bewegungs- und bei den reinen Empfindungsnerven der Querschnitt negativ gegen die Seitenfläche.

Mit dem Nervus opticus des Frosches zu experimentiren, ist wegen seiner Kürze sehr schwierig; Du Bois wählte, statt dessen den Nervus opticus von Fischen, namentlich den vom großen Schley. Dieser giebt 40 bis 45° Ausschlag. Auch hier gilt das gleiche Gesetz in Beziehung auf die Stromesrichtung.

Jede Schnittfläche des Gehirns verhält sich negativ gegen Punkte der Außenfläche. Ebenso ist jeder Querschnitt des Rückenmarks negativ gegen seine Außenfläche.

Du Bois hat sich durch Versuche von der gleichen Gesetzmäßigkeit des Nervenstromes beim Menschen, dem Kaninchen, dem Meerschweinchen, der Hausmaus, der Taube, der Schildkröte, der Eidechse, dem Wasser-, Gras- und Laubfrosch, dem Erdmolch, dem Schley und dem Flußkrebse überzeugt.

Erörterung des Gesetzes des Nervenstromes. Wir haben nun 297
gesehen, daß der Nervenstrom denselben Gesetzen folgt, wie der Muskelstrom; wir sind also berechtigt, alle Schlüsse, die rein physikalisch für den Muskel aus der Erscheinungsweise seines Stromes folgten, unmittelbar auf den Nerven zu übertragen und elektromotorische Molekeln in den Nerven als Erzeugerinnen des Stromes zu betrachten. Gleich den Muskeln sind demnach die Nerven fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette zu betrachten; wie bei den Muskeln, so ist auch jeder Strom, der von den Nerven gewonnen wird, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm anzusehen; endlich gilt für die Nerven wie für die Muskeln die Bemerkung, daß die Stärke des Stromes, wie er im Multiplicator sich kundgiebt, nicht das geringste aussage über die Stärke, die dem Strom in der nächsten Nähe der ihn entwickelnden Molekeln zukommen mag.

Was nun zunächst die elektromotorische Kraft der Nervenmolekeln, verglichen mit derjenigen der Muskelnmolekeln betrifft, so ist es begreiflich leider nicht möglich, sich darüber irgend einen genauen Aufschluß zu verschaffen, jedoch läßt sich mit ziemlicher Sicherheit die Behauptung aufstellen, daß der Nervenstrom unter sonst gleichen Umständen dem Muskelstrome an Stärke nicht nachsteht, ja vielleicht ihn in den ersten Augenblicken übertrifft.

Wir haben eben nur die Wirkungen des Nervenstromes auf den Multiplicator kennen gelernt; allein auch physiologische Wirkungen des Ner-

venstromes hat Du Bois zu Stande gebracht. Sein Verfahren ist folgendes:

Nachdem man sich durch den Multiplicator von der Gleichartigkeit aller Theile überzeugt hat, kann man denselben aus der Kette entfernen und ein Quecksilbernäpfchen einschalten, so daß das Oeffnen und Schließen des Kreises mittelst eines verquickten Kupferhakens metallisch vollzogen werden kann. Der stromprüfende Froschschenkel ist auf der Glasplatte des allgemeinen Trägers Fig. 308 auf Seite 822 befestigt und das Hirnende seines Ischiadnerven wird mit Längs- und Querschnitt über die mit Eiweißhäutchen versehenen Bäusche gedrückt. Beim Schließen und manchmal auch beim Oeffnen der Kette zuckt der Schenkel.

Man hat nicht einmal eine metallische Schließung nöthig. Hat man auf der einen Seite der Bäusche den Zwischenraum derselben in gehöriger Weise durch den Nerv des stromprüfenden Schenkels überbrückt, so zuckt derselbe, wenn man die Kette durch Auflegen des Schließungsbausches auf der anderen Seite schließt. Natürlich muß das Präparat einen hohen Grad von Empfindlichkeit haben, wenn dieser Versuch gelingen soll.

298 **Der elektrotonische Zustand der Nerven.** Wir schreiten jetzt zu der Untersuchung, wie sich der Nervenstrom verhalte, während das sogenannte Nervenprincip in Thätigkeit ist, also während der Nerv nach dem Muskel zu, oder den Centralgebilden hin die materiellen Veränderungen fortpflanzt, die wir als Bewegung, als Empfindung wahrnehmen.

Die Untersuchung hat hier zunächst ganz gleiche Form mit derjenigen über das Verhalten des Muskelstromes während der Zusammenziehung. Sie zerfällt abermals in Versuche am Multiplicator und in die am Froschschenkel, welche die ersteren ergänzen.

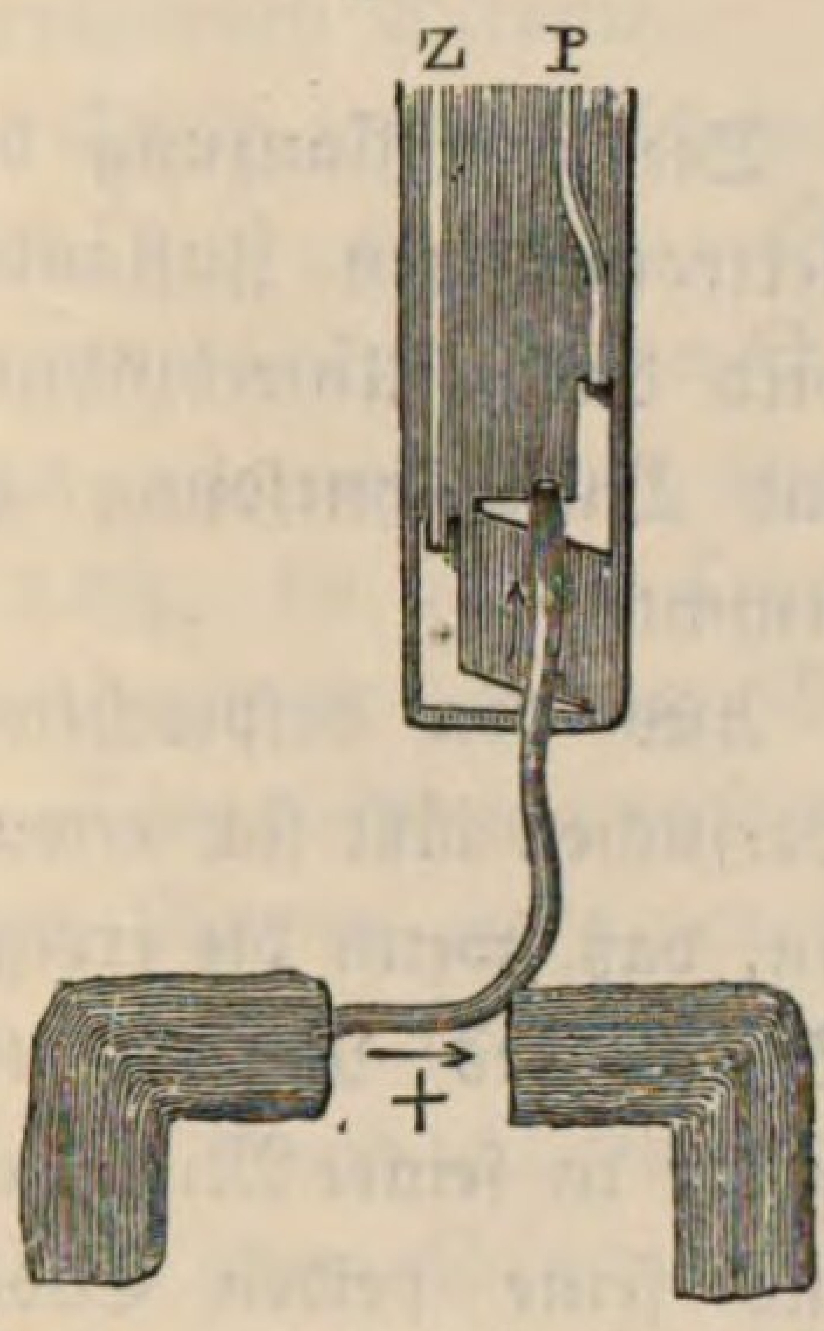
Die nächste Bemühung muß nun dahin gehen, ein Verfahren ausfindig zu machen, wodurch wir den Nerven in einen Zustand versetzen können, der in Bezug auf seine besonderen Lebensäußerungen dasselbe vorstellt, was beim Muskel das Tetanisiren. Dieser Zustand ist für den bewegenden Nerven offenbar der, welcher Tetanus in den zugehörigen Muskeln zur Folge hat; für den Empfindungsnerven ein solcher, wo eine irgend wie beschaffene, aber möglichst lebhafte Empfindung entweder stetig oder in einzelnen Anfällen stattfindet, die sich in ununterbrochen dicht gedrängter Reihe wiederholen. Wir wollen der Kürze und Bequemlichkeit wegen fortfahren, eine jede Versuchsweise, wodurch ein solcher Zustand der Nerven, gleich viel, ob bewegender oder empfindender Art, hervorgerufen wird, mit dem Ausdruck »Tetanisiren« zu bezeichnen.

Ehe wir jedoch zu dieser Untersuchung selbst schreiten, haben wir noch

den Einfluß stetiger Ströme auf die Nerven kennen zu lernen, welche die Annahme eines elektrotonischen Zustandes in denselben bedingt.

Ein Nerv sey auf die Bäusche und die bekannten Platinschäufelchen so aufgelegt, wie es Fig. 317 zeigt. Der Strom des zwischen den Bäuschen befindlichen Nervenstückes wird am Multiplicator eine beständige Ablenkung hervorbringen. Bringt man nun die Stäbchen, in welche die Platinschäufelchen eingelöthet sind, mit dem positiven und negativen Pole eines einfachen Grove'schen Bechers in metallische Verbindung, daß also ein constanter Strom durch das hier aufliegende Nervenstück hindurchgeht, so findet je nach der Richtung dieses Stromes eine Zunahme oder eine Abnahme des am Multiplicator beobachteten Nervenstromes Statt.

Fig. 317.



Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenstrome in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreise begriffen ist, wie es unsere Figur andeutet, so findet anscheinend Vergrößerung des Nervenstromes Statt; es findet anscheinend Verkleinerung Statt, wenn beide Ströme in den Nerven entgegengesetzte Richtung haben.

Eine beständige Ablenkung von 8°, welche der ursprüngliche Nervenstrom hervorbrachte, erlitt im einen Falle einen bleibenden Zuwachs von 2 bis 3 Graden, im andern Falle eine eben so große Abnahme, nachdem im Moment der Schließung der erregenden Kette natürlich ein größerer Ausschlag nach der einen oder anderen Seite erfolgt war.

Den mittelst der Platinschäufelchen durch ein Nervenstück hindurchgeleiteten Strom wollen wir den erregenden Strom nennen.

Den Zustand der Veränderung seiner elektromotorischen Kräfte, welche durch den erregenden Strom hervorgebracht wird, nennt Du Bois den elektrotonischen Zustand des Nerven.

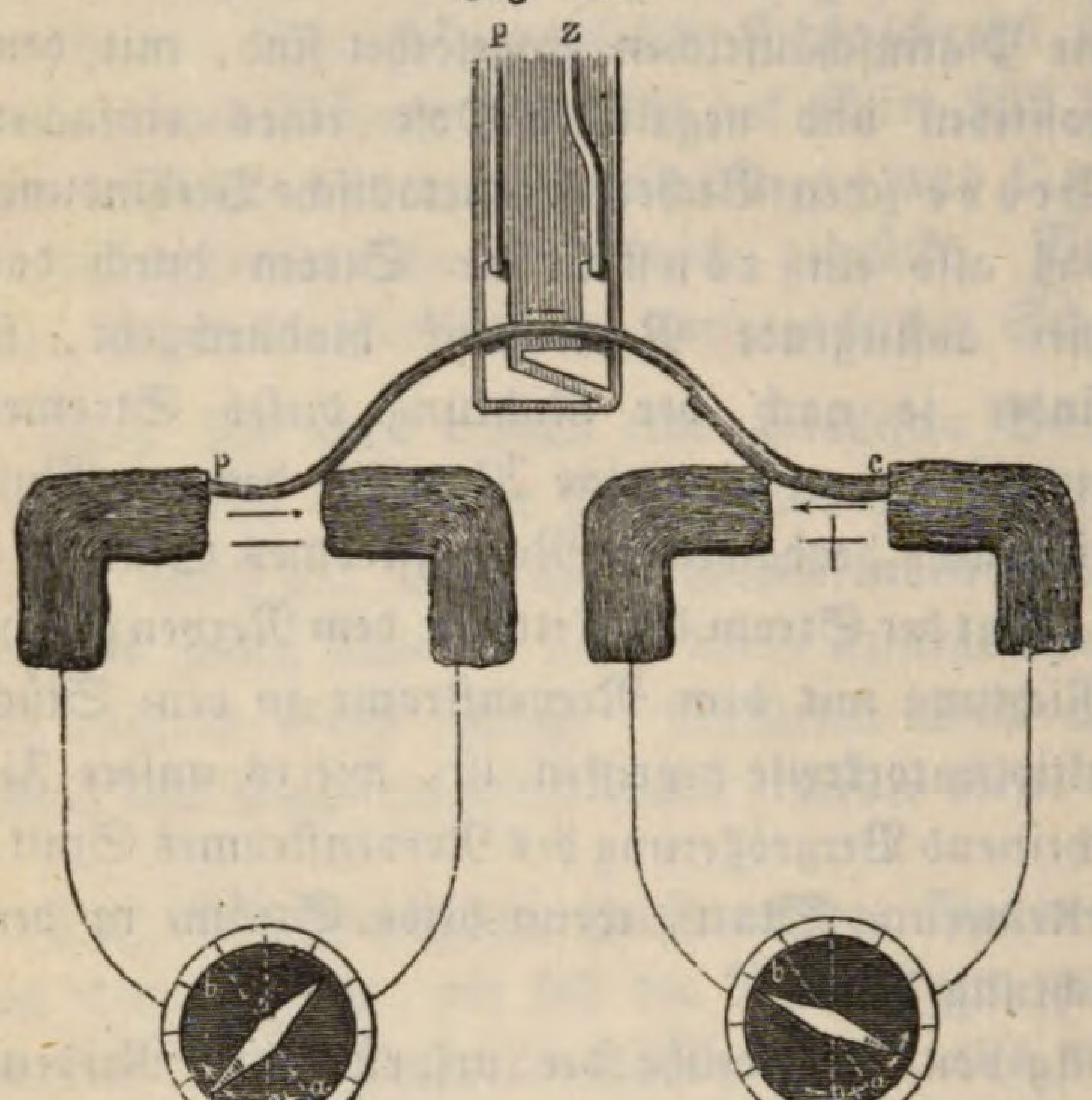
Von der Strecke eines im elektrotonischen Zustande befindlichen Nerven, welche Vermehrung ihres ursprünglichen Stromes zeigt, wollen wir sagen, sie sey in der positiven Phase dieses Zustandes begriffen. Die negative Phase desselben schreiben wir der Strecke zu, welche Verminderung ihres ursprünglichen Stromes zeigt.

Die Strecke des Nerven, welche auf den Bäuschen ruht, und von welcher der Nervenstrom in den Multiplicatorkreis abgeleitet wird, heiße die abgeleitete Strecke des Nerven; die auf den Platinblechen der stromzuführenden Vorrichtung liegende, welche dem erregenden Strome ausgesetzt wird, die erregte Strecke desselben.

Auch hier liefert Du Bois wieder den Beweis, daß diese Erscheinungen so wenig, wie die oben auf Seite 820 betrachteten, von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis herrühren können.

Der elektrotonische Zustand zeigt sich um so weniger stark, je weiter die abgeleitete Strecke von der erregten ist.

Fig. 318.



Die Fortpflanzung des elektrotonischen Zustandes wird durch Unterbindung und Durchschneidung gehemmt.

Aus den besprochenen Versuchen läßt sich erwarten, daß, wenn die erregte Strecke des Nerven ungefähr in seiner Mitte liegt und seine beiden Enden abgeleitet sind, wie dies Fig. 318 zeigt, daß man alsdann am einen Nervenende eine Zunahme des Stromes, am anderen dagegen eine Abnahme desselben beobachten werde, wenn ein constanter Strom die erregte Strecke durchläuft.

Zur Anstellung dieses Versuchs sind natürlich zwei Multiplicatoren nöthig; ebenso ist klar, daß man ihn nur mit den Nerven von ungewöhnlich großen Fröschen anstellen kann. Du Bois fand unter den angegebenen Umständen wirklich, daß die Ablenkung des einen Multiplicators zu-, die des andern abnahm.

Wird der Nerv nicht, wie es Fig. 317 zeigt, einerseits mit dem Querschnitt, andererseits mit dem natürlichen Längsschnitt, sondern mit zwei Stellen des natürlichen Längsschnittes auf die Bäusche gelegt, so also, daß der ursprüngliche Nervenstrom ungleich schwächer ist als im vorigen Fall, so tritt beim Schließen der erregenden Kette die fragliche Veränderung im Nervenstrom mit nicht geringerer Stärke ein, als in dem zuerst betrachteten Falle. — Rückt die abgeleitete Strecke der Mitte des ganzen Nervenstückes näher, so wird bekanntlich der Nervenstrom immer schwächer, die Veränderung des Stromes aber nimmt nicht ab, die wir eintreten sehen, wenn die über den Platinschäufelchen liegende Nervenstrecke von einem constanten Strom durchflossen wird. Wenn gerade das

Mittelstück des Nerven die abgeleitete Strecke bildet, so zeigt der Multiplicator gar keinen Nervenstrom. Wir sehen aber dieses stromlose Stück sogleich elektromotorisch werden, sobald die erregte Strecke von einem Strom durchlaufen wird, und zwar ist der Strom, welchen die abgeleitete Strecke in diesem Falle liefert, im Nerv gleichgerichtet mit dem erregenden Strome.

Diese ganze Erscheinungsreihe läßt sich kurz so zusammenfassen: Sobald irgend eine Strecke der Länge eines Nerven von einem elektrischen Strome durchflossen wird, fängt der Nerv an, abgesehen von seiner gewöhnlichen Stromentwickelung, in allen seinen Punkten elektromotorisch zu wirken und zwar in dem Sinne jenes erregenden Stromes selber.

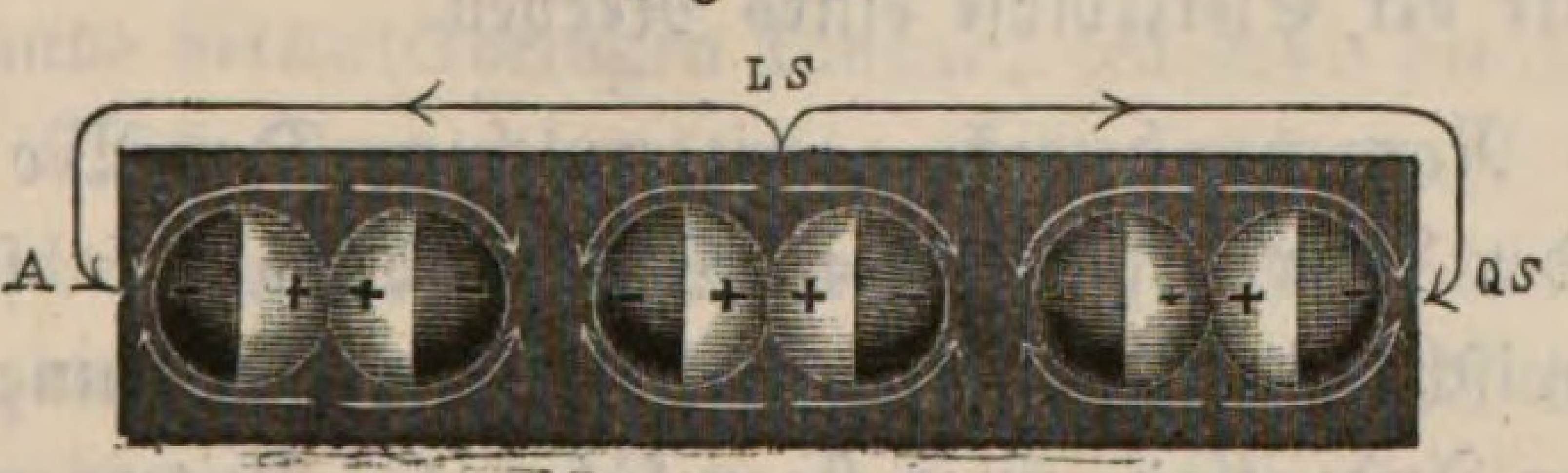
Die elektromotorische Thätigkeit, welche wir unter diesen Umständen am Nerven auftreten sehen, ist wesentlich verschieden von derjenigen, welche den Nervenstrom bedingt. Hier fällt der Unterschied zwischen Längs- und Querschnitt ganz weg und der Nerv wird nach Art der Volta'schen Säule elektromotorisch; zur Erklärung des elektrotonischen Zustandes müssen wir also annehmen, daß die einzelnen elektromotorischen Theilchen säulenartig geordnet sind, daß der Strom, welcher die erregte Strecke des Nerven durchläuft, eine säulenartige Polarisation in der ganzen Länge des Nerven hervorbringt.

Die Anordnung der elektromotorischen Kräfte, die wir im elektrotonischen Zustande wirksam werden sehen, ist derjenigen an einer unter Wasser getauchten oder überall mit einer Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Säule zu vergleichen. Die elektromotorischen Molekeln aber, welche gehörig geordnet, das Bild einer Säule geben sollen, müssen nothwendig dipolar seyn, einem zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar.

Zur Erklärung des ursprünglichen Nervenstromes haben wir aber die zur Erklärung des Muskelstromes aufgestellte, auf S. 816 besprochene Hypothese peripolarer Molekeln auf die Nerven übertragen. Es fragt sich nun, wie sich diese Annahme mit dem Eintreten des elektrotonischen Zustandes in Zusammenhang bringen läßt?

Du Bois löst diese Schwierigkeit in folgender Weise: — Man kann sich die peripolaren Molekeln aus je zwei dipolaren zusammengesetzt und diese dann in der Weise geordnet denken, wie dies Fig. 319 zeigt. Bei dieser Anordnung der elektromotorischen Molekeln im Nerven wird derselbe den gewöhnlichen Nervenstrom

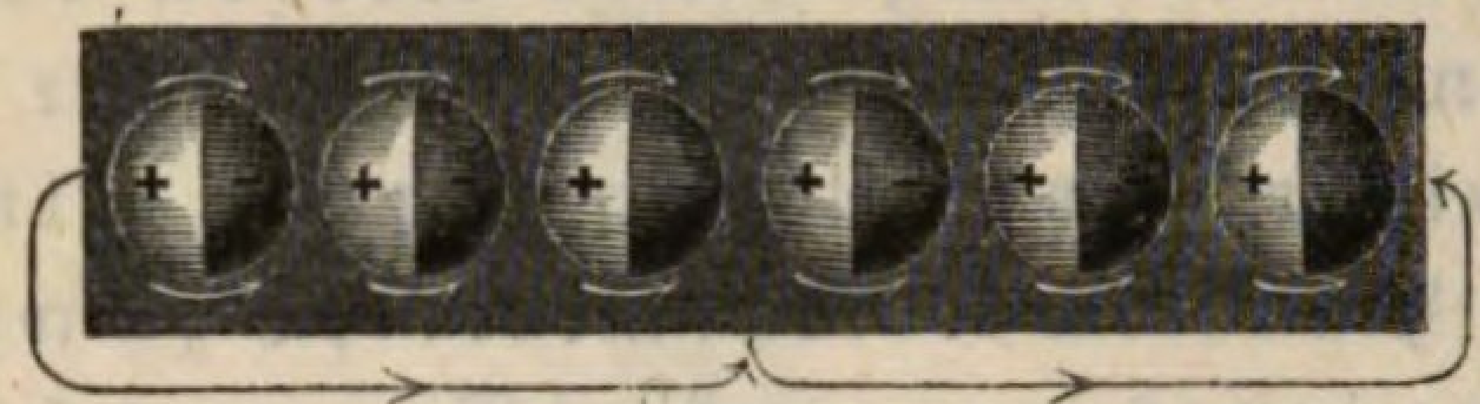
Fig. 319.



zu entwickeln im Stande seyn. Beim Uebergang in den elektrotonischen Zustand trennen sich nun die beiden dipolaren Molekeln, welche vorher zu einem peripolaren verbunden waren, und die Hälfte derselben dreht sich so, daß nun die positiven Hälften alle nach einer, die negativen nach der anderen Seite gerichtet sind, wie dies Fig. 320 andeutet.

Der elektrotonische Zustand bietet in mancher Beziehung Aehnlichkeit mit dem Vorgange der Innervation dar, deshalb aber darf doch die säulenartige Polarisation keineswegs für einerlei gehalten werden mit dem Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, welcher nur in dem Augenblicke des Hereinbrechens, Aufhörens, Umsetzens des Stromes stattfindet, nur durch Schwankungen der Stromdichte in den Nerven hervorgerufen wird, während der elektrotonische Zustand in gleicher Weise anhält, so lange die Kette geschlossen ist.

Fig. 320.



Schon damals, als bei Ritter und P. Ermann die ersten Grundzüge einer Theorie der Zuckungen auftauchten, machte sich die folgende Vorstellungsweise geltend: daß nämlich der Bewegung vermittelnde Vorgang, der im Augenblick der Schließung der Kette entstehe, von dem Uebergang des Nerven in einen veränderten Zustand herrühre; daß die Thätigkeit des Stromes eben darin bestehe, den Nerven in diesen veränderten Zustand zu versetzen und so lange er selber andaure, auch darin zu erhalten; daß nämlich die Oeffnungszuckung nichts sey, als die Folge des Rücktritts des Nerven aus dem veränderten Zustand in den natürlichen.

Du Bois stellt nun die Ansicht auf, daß wir in dem elektrotonischen Zustande jene dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom wirklich erkannt haben. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, so ergeht es letzterem gleich jedem andern feuchten Leiter. Es wird Elektrolyse eingeleitet, welche mit säulenartiger Polarisation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schließungszuckung, Schließungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung ist es, welche den Oeffnungsschlag veranlaßt. Die galvanische Reizung ist uns nichts mehr, als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven.

Was die Wahl des Namens betrifft, mit welchem Du Bois die dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom belegt, so sagt er darüber Folgendes: Zwischen dem Vorgange der Nervenerregung durch den Strom und dem der Induction eines stromführenden Leiters oder ei-

nes Magneten auf einen benachbarten Leiter findet eine Aehnlichkeit Statt, die bereits oben erwähnt wurde.

Faraday nahm an, daß in dem inducirten Drahte eine Veränderung vor sich gehe, welche so lange andauere, wie die inducirende Ursache selber.

Den Schließungsstrom betrachtet er als den Ausdruck des Uebergangs vom gewöhnlichen Zustand des Nebendrahtes in den veränderten, während sich die Rückkehr aus dem veränderten Zustand in den gewöhnlichen durch den Oeffnungsschlag kundgiebt. — Dieser veränderte Zustand nun, in welchem sich der inducirte Draht vom Schließungsschlage an bis zum Trennungsschlage befindet, nennt nun Faraday den elektrotonischen Zustand. Anfangs konnte er keine weiteren Beweise für die wirkliche Existenz dieses hypothetischen Zustandes beibringen und erst viel später gelang es ihm durch optische Mittel, wirklich eine Veränderung des Molekularzusammenhanges verschiedener Körper durch magnetisirende Einflüsse darzuthun.

Will man nun den Vergleich der Induction mit der Nervenerregung vollends durchführen, so ist klar, daß die säulenartige Polarisation der Nerven durch den Strom, Faraday's elektrotonischem Zustande der Materie entspricht; man kann also den in diesem Paragraphen besprochenen Zustand der Nerven nicht passender bezeichnen, als wenn man ihn den elektrotonischen Zustand der Nerven nennt.

Verhalten des Nervenstromes beim Tetanisiren auf elektrischem Wege. 299 Läßt man eine Reihe gleichgerichteter Stromstöße von kurzer Dauer durch das auf den Platinschäufelchen aufliegende Nervenstück hindurchgehen, so zeigt die abgeleitete Strecke immer noch die positive und negative Phase des elektrotonischen Zustandes, die wir im vorigen Paragraphen kennen lernten. — Schaltet man in den Kreis der erregenden Kette ein Unterbrechungsrad ein, so erhält man beim Drehen desselben die Ausschläge in demselben Sinne, als ob man die erregende Kette stetig geschlossen hätte, so kurz auch die Dauer der jedesmaligen Schließung seyn mag. Das Unterbrechungsrad, dessen Du Bois sich bediente, war so eingerichtet, daß man die jedesmalige Schließungsdauer auf 0,001 Secunde herunterbringen konnte, während die Unterbrechungszeit zwischen zwei Schließungen etwa 19mal so groß war. Da die Phasen sich noch deutlich zeigten, so ist in diesen Versuchen die Gränze der Geschwindigkeit, womit der elektrotonische Zustand zu Stande zu kommen vermag, noch nicht erreicht.

Auch wenn man die Stöße des Extrastromes, z. B. die eines Neef'schen Magnetelektromotors auf die erregte Strecke einwirken läßt, zeigen sich noch die elektrotonischen Phasen im richtigen Sinne; doch treten hier schon Störungen auf, indem die positive Phase bedeutend schwächer auftritt als die negative. Manchmal erfolgt in der positiven Phase gar keine sichtbare Wirkung oder es tritt sogar ein negativer Ausschlag auf, der aber demjenigen an Größe weit nachsteht, welche der negativen Phase entspricht. — Dies alles zeigt, daß hier der elektrotonische Zustand nicht mehr rein auftritt. Die Abweichung von der reinen Erscheinung des elektrotonischen Zustandes deutet auf eine negative Stromesschwankung hin, welche hier modificirend einwirkt.

Um diese negative Stromesschwankung nachzuweisen, muß man die Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes zum Verschwinden bringen, was ganz einfach dadurch geschieht, daß man statt einer Reihe gleichgerichteter Stöße anzuwenden, den Nerv durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt.

Die geeignetste Vorrichtung, um abwechselnd gerichtete Ströme in rascher Aufeinanderfolge durch ein Nervenstück hindurchzusenden, ist nun der Inductionsapparat, da ja die Schließung des Hauptstromes von einem entgegengesetzt gerichteten, die Oeffnung desselben von einem gleichgerichteten Strome im Nebendrahte, in dessen Schließungsbogen das Nervenstück eingeschaltet ist, begleitet wird.

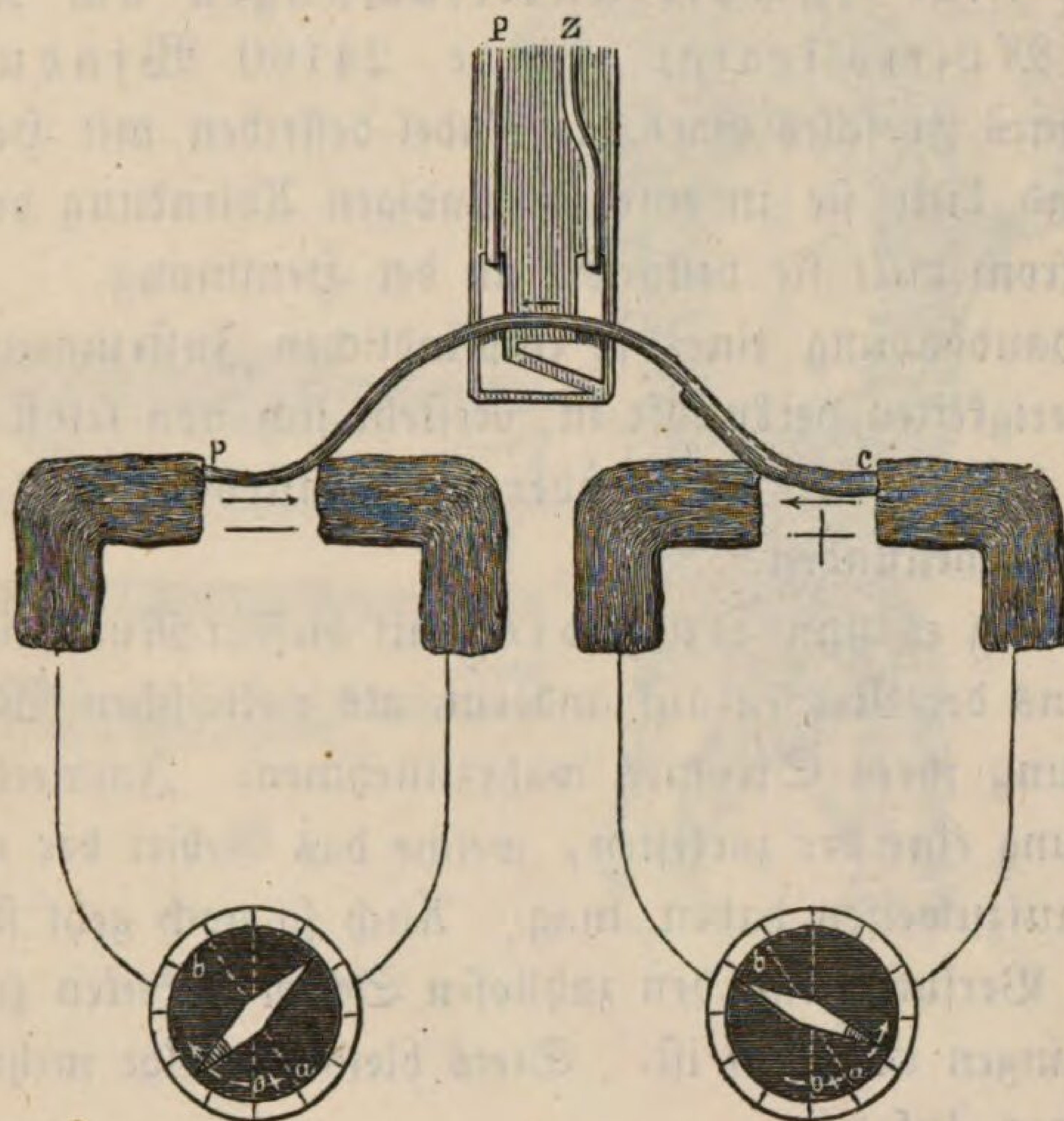
Der Erfolg des Tetanisirens mit abwechselnden Strömen, wenn Längs- und Querschnitt auf den Bäuschen aufliegen, ist nun wirklich eine rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkt hin, unter günstigen Umständen bis in den negativen Quadranten hinein.

Sind beide Enden des Nerven abgeleitet, wie Fig. 321 zeigt, so machen beide Multiplicatornadeln eine rückgängige Bewegung, wenn die erregte Nervenstrecke durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt wird, während, wie wir oben sahen, bei Anwendung beständiger Ströme die eine Hälfte des Nerven in die positive, die andere in die negative Phase des elektrotonischen Zustandes tritt, also die Ablenkung der Nadel im einen Multiplicator zu- im andern abnimmt.

Liegt die abgeleitete Strecke des Nerven auf beiden Bäuschen mit dem Längsschnitt auf, so zeigt sich bekanntlich der ursprüngliche Nervenstrom ungleich schwächer als beim Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt; aber auch die negative Stromesschwankung, welche beim Tetanisiren des Nerven mit abwechselnd gerichteten Strömen stattfindet, erscheint in gleichem Maaße geschwächt wie der Nervenstrom selbst, während der elektroto-

nische Zustand sich unabhängig von der ursprünglichen Stärke des Nervenstromes an allen Stellen des Längsschnittes eben so stark zeigte, als wenn einerseits Längsschnitt, andererseits Querschnitt auflag.

Fig. 321.



Das Ergebniß des Tetanisirens der Nerven mit abwechselnden Strömen stimmt also genau überein mit dem elektromotorischen Ergebniß der Muskelzusammenziehung.

So ist denn der Beweis geliefert, daß das Tetanisiren der Nerven auf elektrischem Wege von einer Schwankung des ursprünglichen Nervenstromes in negativem Sinne begleitet ist, welche, vom elektrotonischen Zustande unabhängig, nichts Anderm zugeschrieben werden kann, als einer Verminderung der nach Außen gerichteten elektromotorischen Kräfte des Nerven. *Diese negative Stromesschwankung ist nun wohl nichts Anderes, als der elektrische Ausdruck des Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorganges.*

Um nun darüber volle Gewißheit zu erhalten, ist nur noch zu untersuchen, ob diese negative Stromesschwankung nicht vielleicht allein an das Tetanisiren auf elektrischem Wege geknüpft sey und bei anderen Arten des Tetanisirens fehle?

Negative Stromesschwankung beim Tetanisiren auf nicht elektrischem Wege. 300 Die ersten Bemühungen, welche Du Bois machte, eine negative Stromesschwankung durch Tetanisiren auf nicht

elektrischem Wege nachzuweisen, waren so gut wie vergeblich. Es zeigte sich, daß sein Multiplicator zu diesen Versuchen bei weitem nicht empfindlich genug war. — Es blieb nichts übrig, als zur Construction eines neuen Instrumentes zu schreiten, die denn auch alsbald unternommen wurde. Der neue für die Untersuchungen am Nervenstrom bestimmte Multiplicator hatte 24160 Windungen. Der Ischiadicus eines Frosches warf die Nadel desselben mit Heftigkeit an die Hemmung und hielt sie in einer beständigen Ablenkung von 40 — 50°. Der Muskelstrom hielt sie beständig an der Hemmung.

Daß die Handhabung eines so empfindlichen Instrumentes mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft ist, versteht sich von selbst. Du Bois giebt darüber sowohl, wie auch über die Construction des Instrumentes ausführliche Mittheilungen.

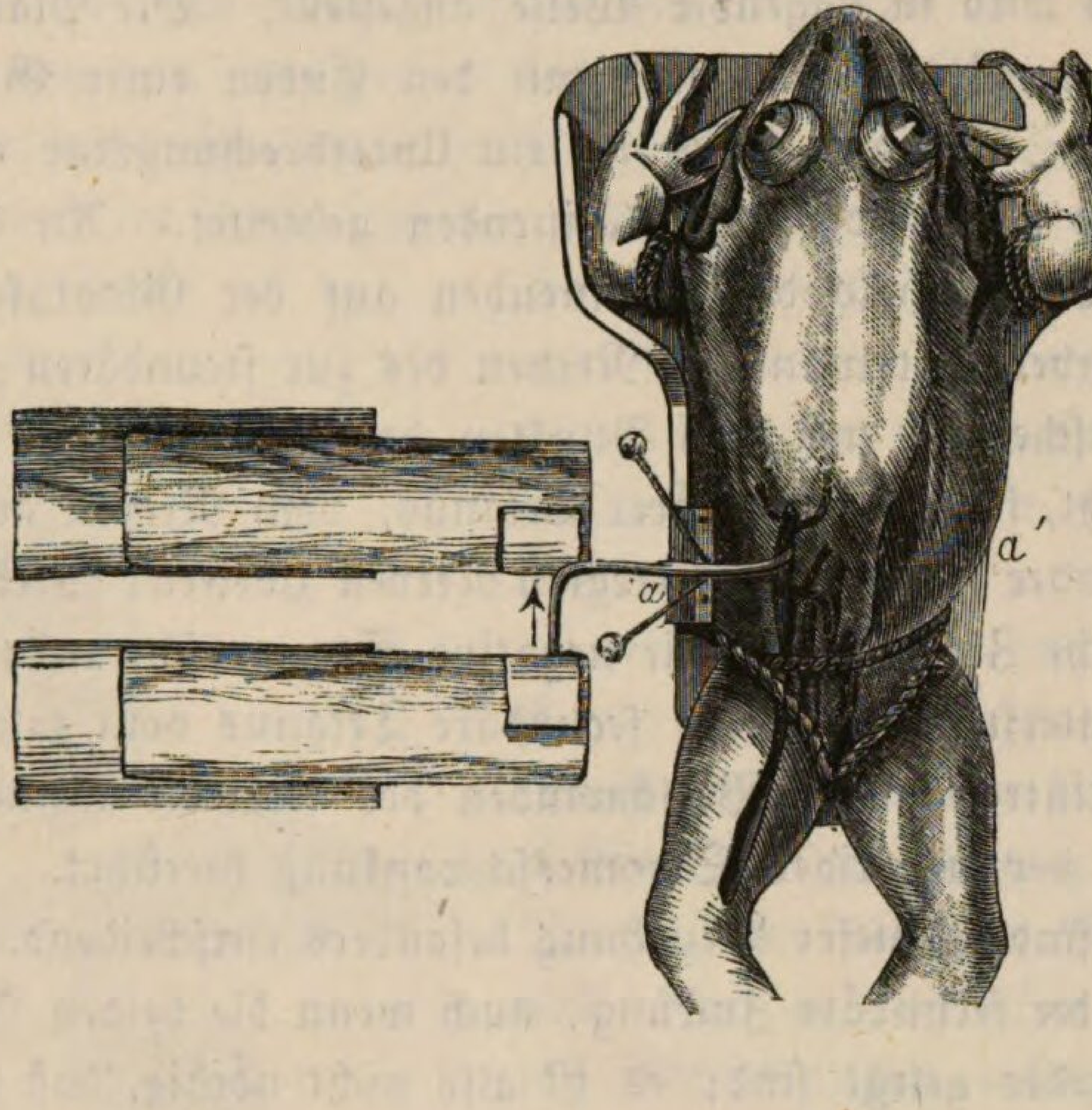
Wirklich gelang es nun Du Bois, mit diesem Multiplicator während des Tetanisirens der Nerven auf anderm, als elektrischen Wege eine negative Schwankung ihres Stromes wahrzunehmen. Immerhin aber bleibt diese Erscheinung eine der zartesten, welche das Gebiet der experimentellen Wissenschaft aufzuweisen haben mag. Auch so noch geht stets eine große Mehrheit von Versuchen an den zahllosen Schwierigkeiten zu Grunde, von denen ihr Gelingen umgeben ist. Stets bleibt dasselbe mehr oder weniger in der Hand des Zufalls.

Um die Nerven vom Rückenmark aus durch Strychninvergiftung zu tetanisiren und die entsprechende negative Stromesschwankung nachzuweisen, wird folgendermaßen verfahren: Der Frosch wird auf einem dazu bestimmten Rahmen befestigt, vergiftet, die Arteria iliaca communis sinistra unterbunden, der Nerv von der Kniekehle bis an die Wirbelsäule frei zugerichtet, um mit seinem freien unteren Ende mit Längs- und Querschnitt über die Bäusche gebreitet zu werden, wie Fig. 322 andeutet. Du Bois bezeichnet diesen Versuch als einen ungemein schwierigen. Nur von Zeit zu Zeit glückt er nach Wunsch und bietet dann folgende Erscheinung dar: Im Augenblick der tetanischen Strychnininnervation weicht die Magnetnadel um 1—3°, auch wohl um 4° zurück und nimmt sofort, jedoch nicht ganz, die vorige Höhe wieder ein. Sie thut dies nicht allein beim ersten Hauptanfall, der sich nach einer gewissen Zeit von selber einzustellen pflegt, sondern auch bei den einzelnen Stößen von ungleich kürzerer Dauer, welche man bereits vor dem Hauptanfalle im Stadium der Reflexbewegung durch Berührung hervorrufen kann.

Wird ein ausgeschnittener Nerv mit dem einen Ende in der bekannten Weise über die Bäusche ausgebreitet, so tritt unter günstigen Umständen eine negative Schwankung von 1 — 3° ein, wenn das andere Nervenende gequetscht oder gebrannt wird.

Das Tetanisiren des Ischiadicus von seinen Hautverzweigungen aus wurde auf folgende Weise bewirkt: Ein stromprüfender Froschschenkel, dem

Fig. 322.



jedoch die Haut gelassen ist, wird in den schrägen Schenkel eines communicirenden Rohres gesteckt und sein Kniegelenk durch ein passendes Korkstückchen an der obern Mündung festgehalten. Der Nerv liegt auf den Bäuschen auf. — Gießt man nun in den andern, vertikal stehenden Schenkel durch eine trichterförmige Oeffnung desselben eine siedende Kochsalzlösung ein, so steigt sie in dem schrägen Schenkel langsam empor und verbrüht Schritt für Schritt und durch und durch den darin befindlichen Unterschenkel. Während nun ein Frosch, den man sich am oberen Ende des Ischiadicus denkt, sich in gräßlicher Qual winden würde, sieht man hier die Nadel die bekannte negative Schwankung vollziehen.

Du Bois hat alle Einwendungen, die man etwa gegen diese Versuche machen könnte, gründlich beseitigt; doch können wir hier unmöglich weiter in Details eingehen.

Secundäre Zuckung von den Nerven aus. Um zu untersuchen, 301
ob die negative Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven stetiger oder unterbrochener Art sey, müssen wir das physiologische Rheoskop, den stromprüfenden Froschschenkel, an die Stelle des Multiplicators setzen. Ist die Schwankung stetiger Natur, so wird er unter allen Umständen in Ruhe bleiben, höchstens zu Anfang oder zu Ende derselben eine Zuckung zeigen dürfen. Ist sie unterbrochener Art, so wird dagegen der strompru-

fende Schenkel in secundären Tetanus gerathen müssen, wofern nur die einzelnen Stöße tief und schnell genug sind, und der Schenkel hinreichende Erregbarkeit besitzt, damit Zuckung stattfinden könne.

Der Versuch wird in folgender Weise angestellt. Die Platinenden der stromzuführenden Vorrichtung sind mit den Enden einer Grove'schen Kette verbunden. In den Kreis ist ein Unterbrechungsrad eingeschaltet. Ein Ischiadicus wird über die Platinenden gebreitet. An Längs- und Querschnitt des außerhalb der Platinenden auf der Glastafel ruhenden Theiles des Nerven legt man den Nerven des zur secundären Zuckung bestimmten Unterschenkels mit zwei Punkten des Längsschnittes an. Wird das Rad gedreht, so tritt secundärer Tetanus, vom Nerven aus, ein.

Hier treten aber im primitiv erregten Nerven zweierlei Wirkungen auf: der elektrotonische Zustand und die negative Stromesschwankung. Es ist also noch zu untersuchen, ob der secundäre Tetanus vom rasch aufeinanderfolgenden Eintreten und Verschwinden des elektrotonischen Zustandes oder ob er von der negativen Stromesschwankung herrührt. Die folgenden Ergebnisse sind in dieser Beziehung besonders entscheidend.

Man erhält die secundäre Zuckung, auch wenn die beiden Nervenenden nur neben einander gelegt sind; es ist also nicht nöthig, daß der primitiv erregte Nerv den andern mit Längs- und Querschnitt berührt.

Die Nähe der Elektroden übt einen entscheidenden Einfluß auf die Stärke der Zuckungen aus. Ist die Nervenstrecke zwischen den Elektroden und der Berührungsstelle der beiden Nerven sehr groß, so tritt keine secundäre Zuckung mehr ein.

Da der elektrotonische Zustand mit der Entfernung von den Elektroden weit rascher abnimmt, als die negative Stromesschwankung, so kann nach diesen Resultaten kein Zweifel bleiben, daß der Eintritt und das Aufhören des elektrotonischen Zustandes die secundäre Zuckung erzeugen und daß dieselbe nicht durch die negative Stromesschwankung hervorgebracht werden kann.

Wird der Nerv auf irgend eine nicht elektrische Weise tetanisirt, so ist er unfähig, eine secundäre Zuckung zu erzeugen. Die Reizung muß durchaus eine elektrische seyn.

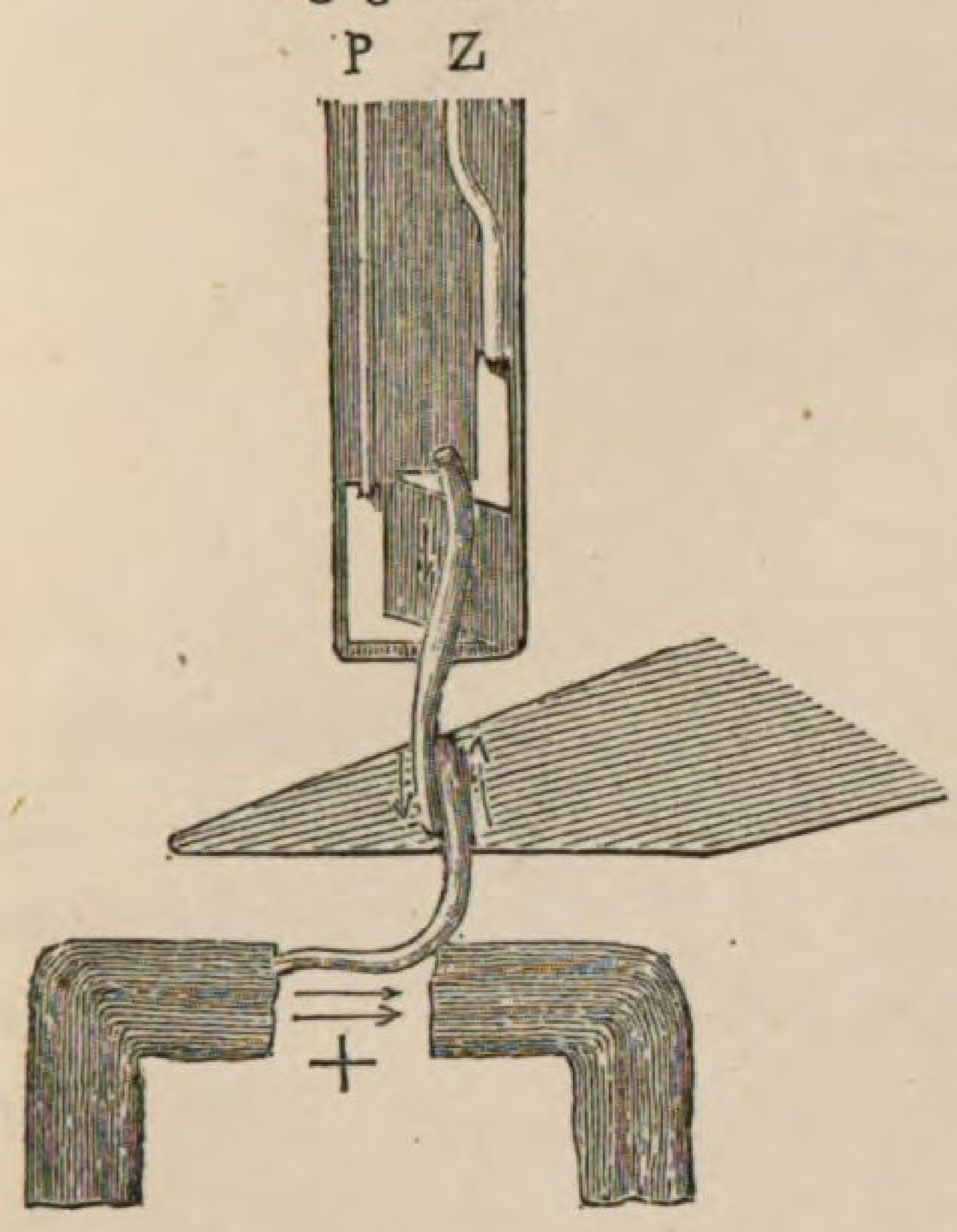
Die Frage nach der stetigen oder unterbrochenen Natur negativer Stromesschwankung kann also wohl auf diesem Wege nicht entschieden werden.

Die secundäre Zuckung vom Nerven und diejenige vom Muskel aus sind nach alledem hinsichtlich ihres Ursprungs wohl auseinander zu halten. Die letztere rührt her von der negativen Schwankung bei der Zusammenziehung, sie ist daher unabhängig von der Art und Weise, wie die Zusammenziehung hervorgebracht wurde. Die secundäre Zuckung vom Nerven aus rührt wesentlich her vom Eintritt oder vom Aufhören des elektroto-

nischen Zustandes, und ihr Zustandekommen ist deshalb gebunden an diese besondere Art der Erregung des Nerven, nämlich die Reizung auf elektrischem Wege.

Du Bois hat nun ferner nachgewiesen, daß sich auch der elektrotonische Zustand von dem unmittelbar elektrisch erregten Nerven auf den mittelbar zu erregenden überträgt; er hat gezeigt, daß der letztere gleichzeitig mit dem ersteren im Augenblick der Schließungszuckung in elektrotonischen Zustand geräth und ebenso gleichzeitig mit jenem im Augenblick der Oeffnungszuckung aus demselben wieder austritt. Es versteht sich von selbst, daß der Zuwachs in diesem secundären elektrotonischen Zustande an dem Multiplicator für den Muskelstrom auf eine bloße Spur zurücksinkt; an dem Multiplicator für den Nervenstrom hingegen ist die Wirkung noch sehr ausgesprochen: bei mittleren Verhältnissen erfolgen 8 — 10° Ausschlag. Fig. 323 erläutert die Anstellung des Versuchs.

Fig. 323.



In der zweiten Hälfte des zweiten Bandes, welche hoffentlich bald erscheinen wird, will Du Bois zunächst das Verhalten des Muskelstromes am lebenden unversehrten Körper der Thiere und des Menschen besprechen.

Eine hierher gehörige Erscheinung hat jedoch Du Bois bereits, wenn auch nur in aller Kürze, in den comptes rendus (t. 30, Seite 349) veröffentlicht, nämlich die, daß durch willkürliche Contraction der Muskeln den Armen eines lebenden Menschen ebenfalls die negative Schwankung des Muskelstromes sichtbar gemacht werden kann. Ueber die Art, wie der Versuch anzustellen ist, wird an der citirten Stelle nichts Näheres gesagt. Mir ist der Versuch in folgender Weise gelungen: An die beiden Enden des Multiplicatordrahtes wurden die kupfernen Handhaben einer Magnetelektrisirmaschine eingeschraubt. Sobald man sie mit den befeuchteten Händen anfaßte, verließ die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsstellung, um nach einigen Oscillationen wieder, wenn auch nicht mehr genau im Nullpunkt, zur Ruhe zu kommen. Contrahirt man nun die Muskeln des einen Arms und der einen Hand, indem man die Handhabe kräftig drückt, so sieht man sogleich die Nadel ihre neue Gleichgewichtslage verlassen, um einen Ausschlag von 10 bis 20 Grad nach der einen Seite zu machen. Zieht man jetzt, wenn die Nadel ihren Rückschwung beginnt, die Muskeln des zuerst contrahirten Armes in Ruhe lassend, die Muskeln des

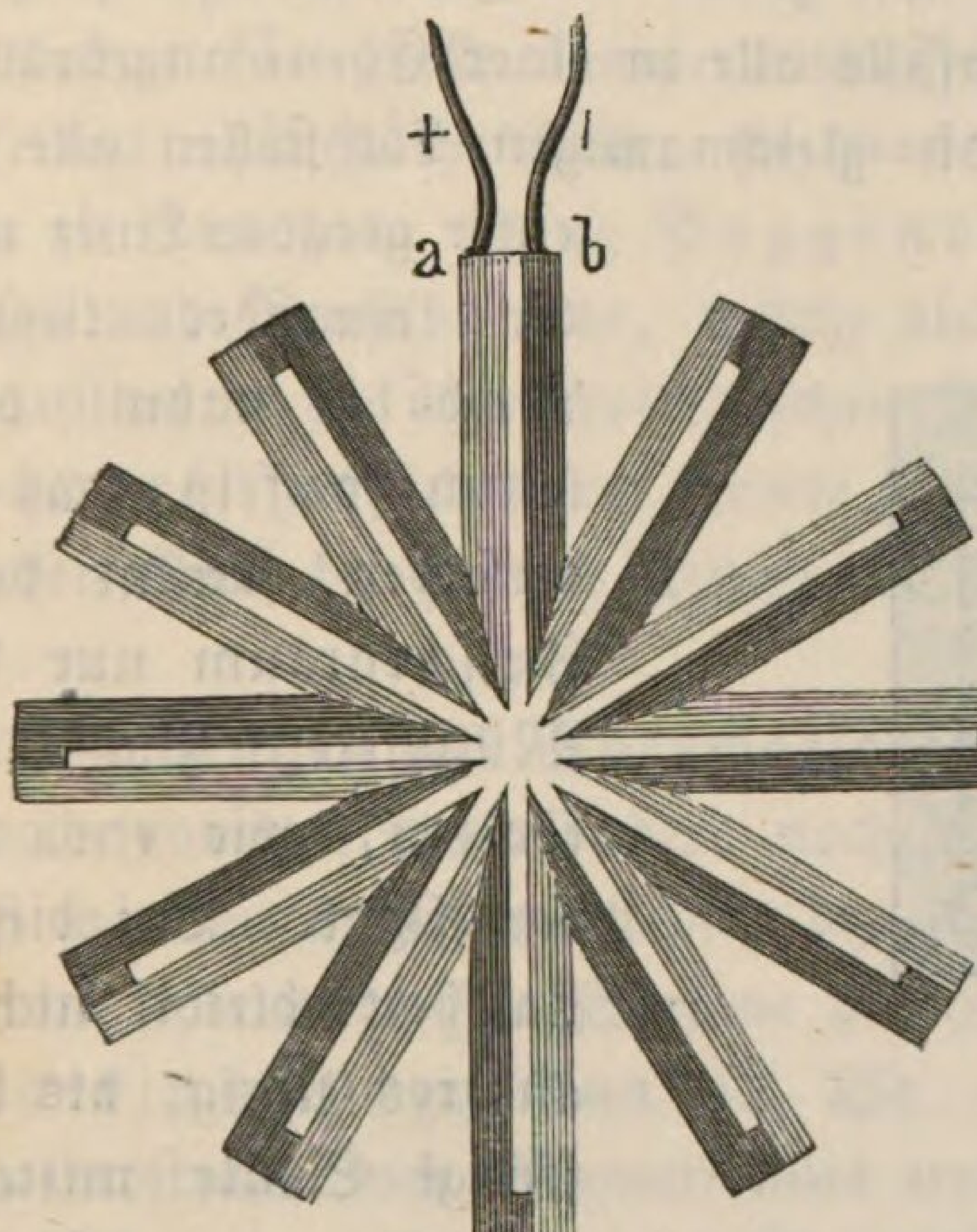
andern Arms zusammen, so kann man dadurch die Nadel auf der andern Seite noch weiter aus der Gleichgewichtslage treiben. Wechselt man auf diese Weise mit der Contraction der Arme in den gehörigen Momenten ab, so kann man bedeutende Oscillationen hervorbringen. An meinem Multiplicator von 3700 Windungen habe ich es leicht bis zu einem Ausschlag von 40—50 Grad auf jeder Seite der Gleichgewichtslage gebracht.

Elfter Abschnitt.

Thermoelektricität.

Thermosäulen. Nobili gab (Pogg. Ann. 36. Bd. p. 525) 302
zwei neue Constructionen der Thermosäule an, wodurch dieselbe empfindlicher und bequemer wird; er nennt die eine Strahlensäule und die andere Schlitzsäule. Die Strahlensäule hat folgende Einrichtung: die Stäbchen sind sämmtlich paarweise so zusammen gelöthet, wie Fig. 324 zeigt, wo *a* und *b* die beiden letzten Elemente mit den angelötheten Leitern vorstellen.

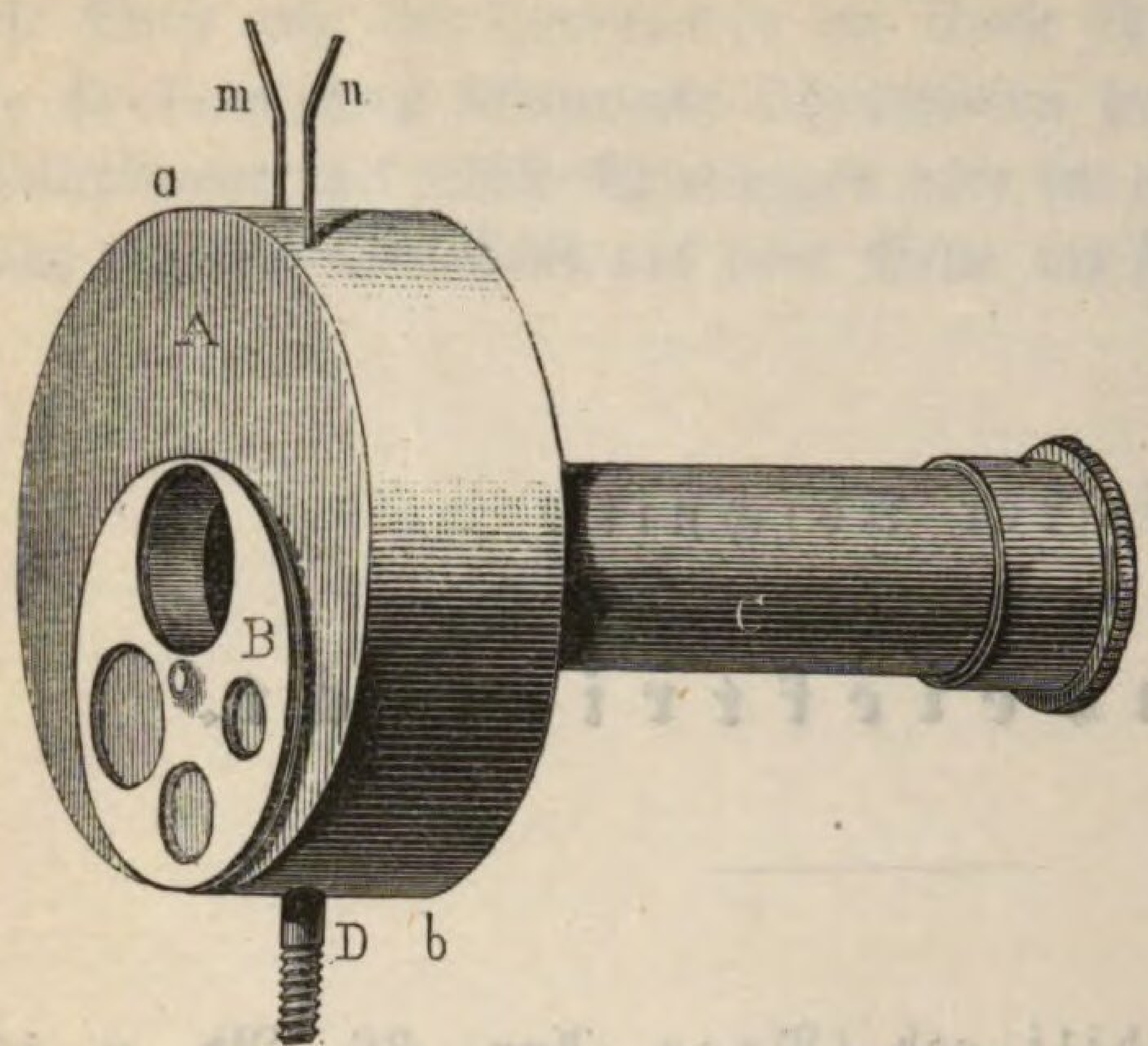
Fig. 324.



Nach dem Verlöthen werden sie mittelst Harz auf eine Holzscheibe gekittet, welche in der Mitte eine Oeffnung hat. Diese Scheibe kommt in die messingene Kapsel *ab*, Fig. 325 (s. f. S.), welche in jedem Boden eine Oeffnung von etwa 15 Millimeter Durchmesser erhält. Die Oeffnung auf *A* kann mittelst des Schiebers *B* verändert werden, indem die auf dem Schieber befindlichen Oeffnungen von 3 — 12 Millimeter steigen. Diese Oeffnung dient die Wärmestrahlen einzulassen. Vor der Oeffnung des andern Bodens ist das Rohr *C* befestigt, das in seinem Deckel eine ganz kleine, noch durch ein Glimmerblatt verschlossene Oeffnung hat, um der Säule

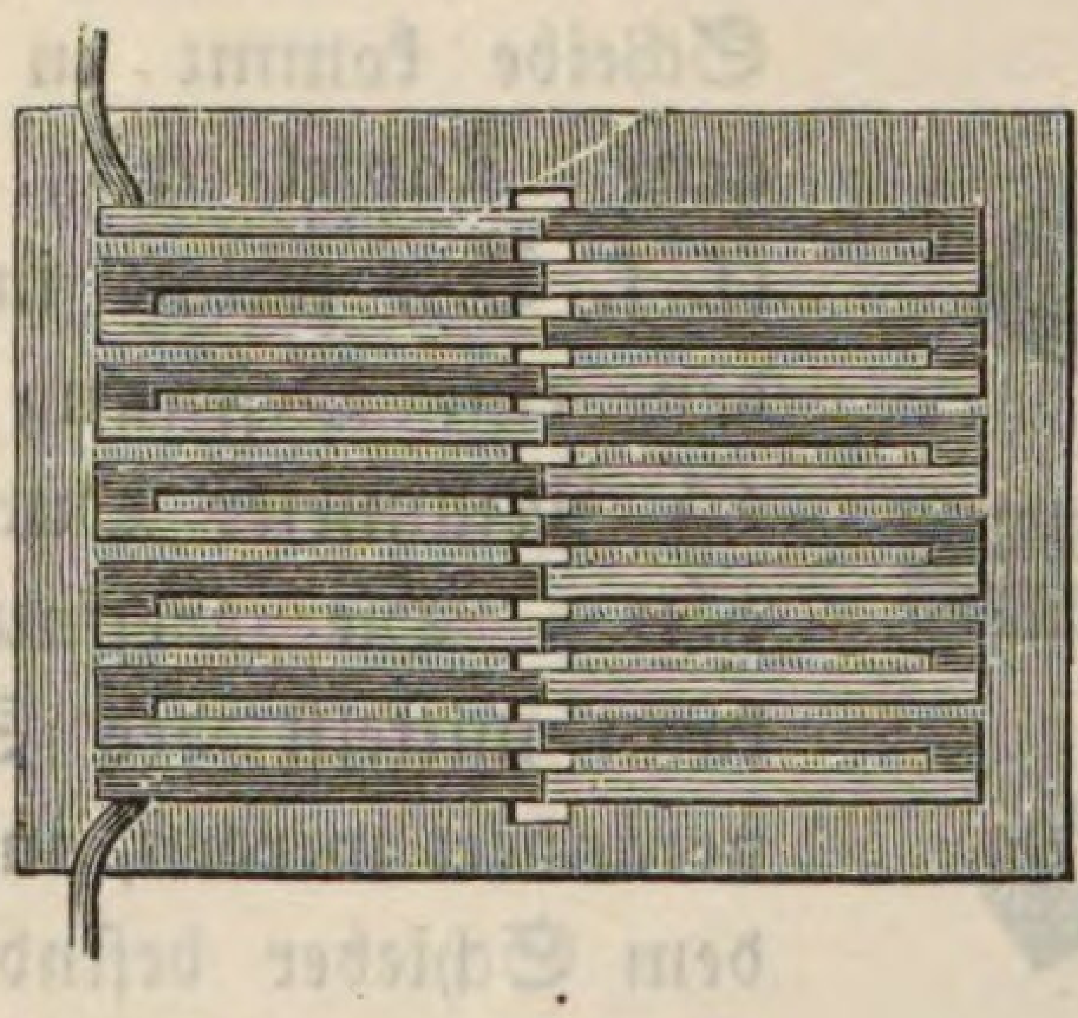
die genaue Stellung geben zu können, indem man durch die kleine Oeffnung und den Mittelpunkt der Säule selbst nach der Wärmequelle sieht; der Zapfen *D* dient zur Befestigung auf irgend ein Stativ; die Drähte *m n* gehen isolirt durch die Messingkapsel und sind an die Pole der Säule verlöthet. Nobili hat solche Säulen von 8 bis 20 Paaren angefertigt, zweifelt aber, ob der durch letztere Zahl erreichbare Vortheil für die ungemein schwierige Ausführung entschädige. Die Vortheile dieser Construction liegen hauptsächlich darin, daß man auch bei sehr kleinen Bündeln von Wärmestrahlen dennoch alle Elemente der Säule in Wirksamkeit hat, und daß man in Fällen, wo die Einwirkung zu stark wäre, leicht durch den Schieber *B* abhelfen kann.

Fig. 325.



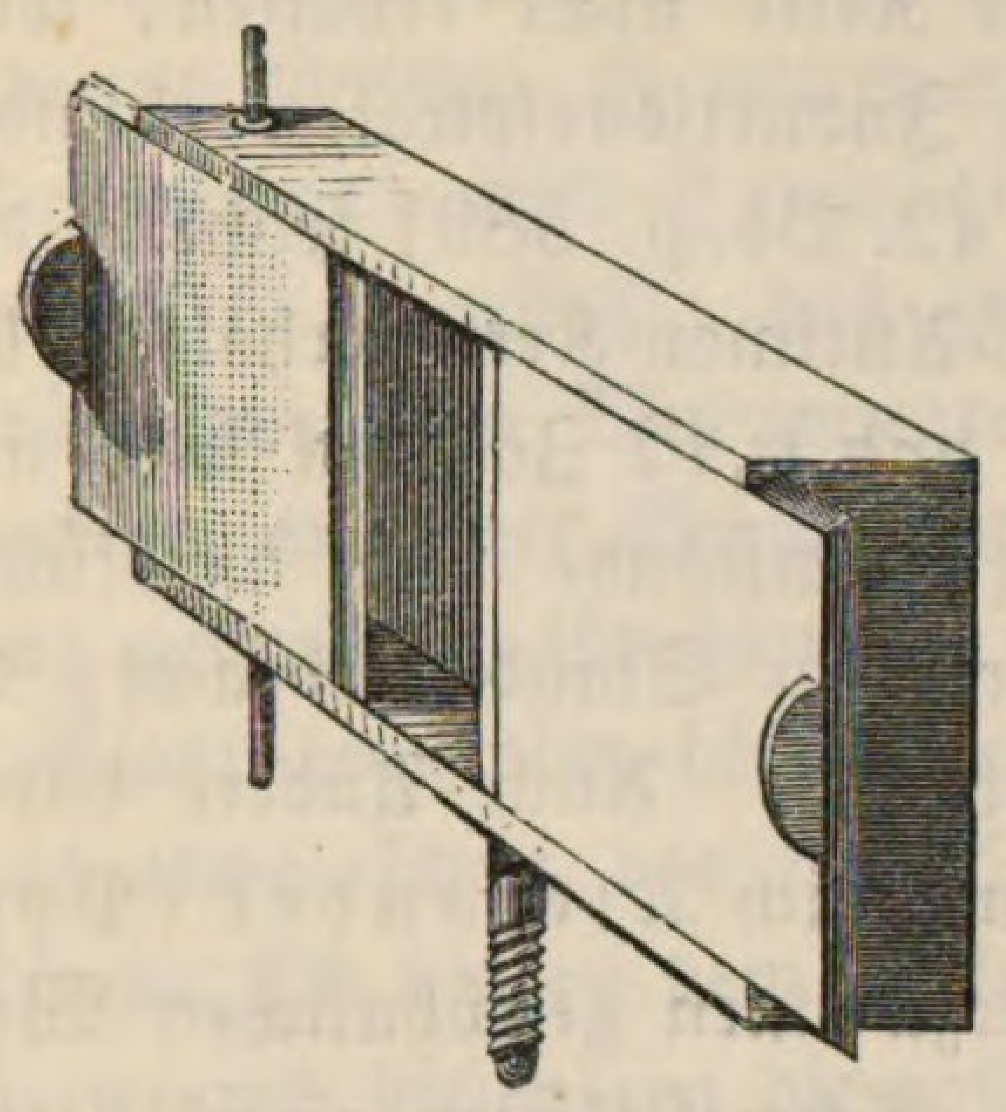
Die Schlitzsäule ist vorzüglich bestimmt, um schmale geradlinigte Wärmequellen anwenden zu können, wie z. B. bei Interferenzversuchen. Zu dem Ende sind die Elemente ebenfalls alle in einer Ebene angebracht, so aber wie Fig. 326 zeigt, wobei die gleichnamigen Löthstellen alle in einer geraden Linie unter einander liegen. Nobili nahm dieselben so fein, daß 8 derselben sammt dem Zwischenraum nur 15 Millimeter Platz erfordern, wie etwa in der Figur. Bei dieser Zartheit bleibt nichts anderes übrig, als die fertige Säule mittelst Harz ebenfalls auf ein Brettchen zu kitten, welches für die mittlere Reihe der Löthstellen einen Schlitz hat. Mit diesem Brettchen kommt die Säule in ein Kästchen, wie Fig. 327, das vorn nur durch zwei Schieber geschlossen ist, zwischen denen man für den Eintritt der Wärmestrahlen eine be-

Fig. 326.



liebige Spalte offen lassen kann; auf der entgegengesetzten Seite hat das Kästchen ebenfalls einen Schlitz, der durch ein Glimmerblatt verschlossen ist, und durch welchen hindurch man die Säule nach der Wärmequelle richten kann.

Fig. 327.



Munke hat in Pogg. Ann. 47. Bd. eine detaillirte Anleitung gegeben, wie man beim Verlöthen der Säulen zu verfahren habe. Diese Anleitung bezieht sich jedoch vorzugsweise auf größere Säulen, und ich glaube daher, es dürfte hier an der einfachen Erwähnung genügen, da Jeder die Sache selbst am angeführten Orte nachsehen kann, wenn er in den Fall kommt, die genannten Arbeiten vorzunehmen. Munke hat Stäbe angewendet von 27 Linien Länge, 5 Linien Breite und 4 Linien Dicke; solcher Stäbe verwendete er 81 zu einer Säule aus 9 Reihen, die Zwischenräume wurden mit Gyps gefüllt und dieser mit Schellackfirniß getränkt, um die eine Seite mit schmelzendem Schnee in Berührung bringen zu können. Auf die andere Seite wurde in geringem Abstand eine Kupferplatte mit aufgebogenem Rande gelegt, und auf diese glühende Kohlen. Versuche, welche damit gemacht wurden, werden weiter unten erwähnt.

Ketten für große Temperaturdifferenzen werden aus Eisen und Platin gefertigt; für solche Fälle, wo man es mit nicht ganz hohen Temperaturen zu thun hat, schlug Poggendorff (Ann. 50. Bd.) eine Kette aus Eisen und Neusilber vor, welche viel wohlfeiler und empfindlicher ist, da Neusilber in der thermoelektrischen Reihe positiver ist als Platin. Poggendorff hat sich durch directe Versuche von der größern Wirkung einer solchen Kette bei gleicher Temperaturdifferenz überzeugt.

Wirkungen der Thermoelektricität. In der hier zu betrachtenden 303
Epoche wurden insbesondere noch Versuche angestellt, um nachzuweisen, daß man durch Thermoströme der Art nach alle Wirkungen erhalten könne, welche hydroelektrische Ströme hervorbringen. In dieser Beziehung zeigte Watkins (Pogg. Ann. 42. Bd. und Phil. Mag. XI, p. 304), daß der Thermostrom auch Magnetismus errege, und zwar brachte Watkins mit einer Kette aus 30 Paaren Wismuth und Antimon in Platten von $1\frac{1}{2}$ Quadratzoll und $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke einen Elektromagnet zu Stande, der 90 Pfund trug. Die Erregung geschah einerseits durch die Strahlung von glühendem Eisen, andererseits durch Eis. Auch Munke hatte mit seiner

oben erwähnten großen Thermosäule kräftige magnetische Wirkung erhalten.

Funken hat Munke beim Schließen der Kette nicht erhalten, wohl aber beim Oeffnen, wenn dieselbe mit einer Inductionsspirale verbunden war, und Watkins will (Pogg. Ann. 42. Bd. p. 589) solche in diesem Falle selbst durch eine einfache Wismuth-Antimon-Kette erhalten haben, obwohl jeder Stab nur 0,5 Zoll lang und 0,12 Zoll dick war und nur 5 Gran wog. Indessen sind die näheren Umstände nicht angeführt.

Auch Wasserzersetzung hat Botto in Turin zu Stande gebracht, die näheren Umstände sind mir jedoch nicht bekannt. Auch Andere haben ähnliche Versuche mit Erfolg angestellt, namentlich Alexander (Poggendorff's Ann. 42. Bd.); er benutzte hierzu einen gewöhnlichen Wasserzersetzungsapparat und durch sehr wenig Schwefelsäure angesäuertes Wasser. Seine Batterie besteht aus einer horizontalliegenden vierseitigen Säule von 25 Elementen aus Wismuth und Antimon, jede Platte zu 1½ □″ Fläche und 1‴ Dicke. Die Elemente sind mit Zinn gelöthet. Munke konnte mit seiner Säule keine Wasserzersetzung erhalten, wohl aber mit Hülfe einer großen Spirale beim Oeffnen der Kette schwache Erschütterungen.

304 **Wärmeentwickelung** erhielt Watkins durch den Thermostrom in einem nach der Angabe von Harris gefertigten Luftthermometer, so wie in einem Breguet'schen Metallthermometer. In beiden Fällen war die directe Wärmeleitung der Kupferdrähte dadurch aufgehoben, daß dieselben mit Eis umgeben waren.

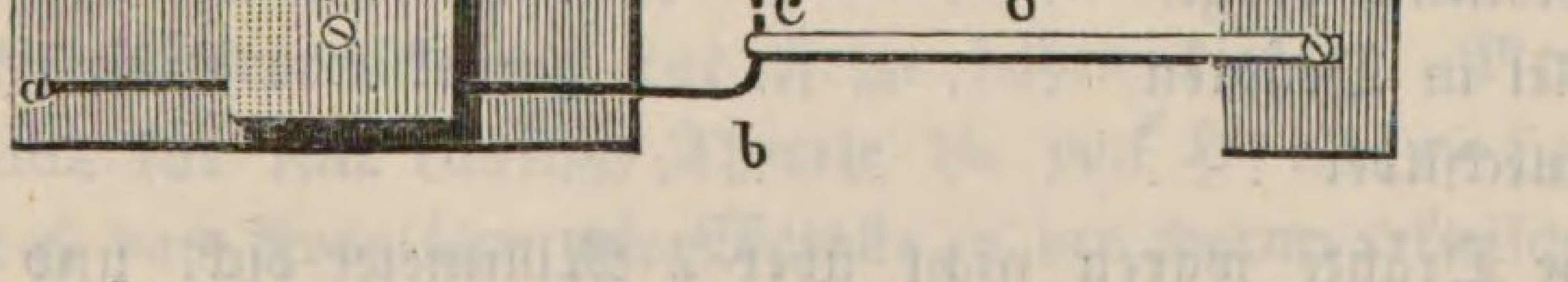
305 **Thermoelektrische Erscheinungen bei Berührung gleichartiger, aber ungleich warmer Körper** wurden von Vielen beobachtet, wie von Becquerel (Pogg. Ann. 44. Bd.), von Matteucci (Pogg. Ann. 47. Bd.), Vorsselman de Heer (ebend. im 49. Bd.), von Henrici (Pogg. Ann. 80. Bd.). Daß bei Berührung von zwei gleichartigen Leitern, deren einer erwärmt ist, und die mit dem Multiplicator verbunden sind, ein elektrischer Strom entstehe, fand man so ziemlich allgemein bestätigt; allein über die Richtung dieses Stromes wurden abweichende Resultate erhalten. Einen Theil dieser Abweichungen erklärte de Heer durch Berücksichtigung der thermoelektrischen Eigenschaften des Quecksilbers, denn Matteucci hatte die ungleich warmen Metalle durch Quecksilber in Berührung gebracht. In diesen Fällen handelte es sich also, wie de Heer richtig erläutert, nicht mehr um Berührung gleichartiger Metalle, und er zeigt aus den erhaltenen Resultaten, daß die thermoelektrische Reihe folgende seyn müsse: Wismuth, Quecksilber, Platin,

Kupfer, Zink, Silber, Eisen, Antimon. Eine besondere Discussion veranlaßte zwischen den obengenannten Beobachtern die Frage, ob auch dann ein elektrischer Strom entstehe, wenn heißes und kaltes Quecksilber in Berührung komme; sie wurde von Becquerel und de Heer bejaht, von Matteucci und Henrici verneint. Die Versuche wurden im Allgemeinen so angestellt, daß zwei Portionen Quecksilber durch gleichartige Drähte mit dem Multiplicator verbunden wurden, hierauf wurde die eine Portion an einer Stelle erwärmt und dann beide Portionen in Berührung gebracht. Es handelte sich hierbei darum, das Quecksilber entweder in Glasröhren oder hölzernen Rinnen in so lange Fäden zu bringen, daß nicht etwa schon vor der Schließung die der einen Portion mitgetheilte Wärme sich bis zu dem darin befindlichen Drahte fortpflanzt, und so erklären auch diejenigen die positiven Resultate der andern Beobachter, welche selbst nur negative erhielten. Entschieden scheint diese Frage noch nicht zu seyn.

Eine Hauptfrage bei den hierher gehörigen Versuchen war natürlich die, ob der Strom bei Berührung gleichartiger Metalle an der Berührungsstelle vom heißen zum kalten Drahte oder umgekehrt laufe. De Heer giebt nach seinen Versuchen an, der Strom gehe bei Kupfer und Platin vom heißen zum kalten Metall, bei Zink, Eisen und Silber aber vom kalten zum heißen, während bei Wismuth und Antimon die Richtung zweifelhaft blieb, indem sie von der Temperaturdifferenz abhängig war, so daß z. B. bei Antimon der Strom vom Kalten zum Warmen ging, wenn die Temperaturdifferenz groß war, und bei geringerer Differenz eine umgekehrte Richtung annahm.

Henrici fand, daß überhaupt die angewendete Temperatur bei diesen Erscheinungen von großem Einfluß sey, indem hohe Temperaturen nicht nur die Beschaffenheit der Oberflächen, sondern auch die innere Structur der Drähte ändern, und dadurch die Erscheinungen wesentlich modificiren. Er wendete daher in der Regel immer nur sehr mäßige Temperaturdifferenzen an. Der Apparat, welchen Henrici anwendete, war folgender: Auf einem mit Leinöl gefirnißten Holze konnten die anzuwendenden Drähte, deren Enden *a a*, Fig. 328, mit dem Multiplicator verbunden

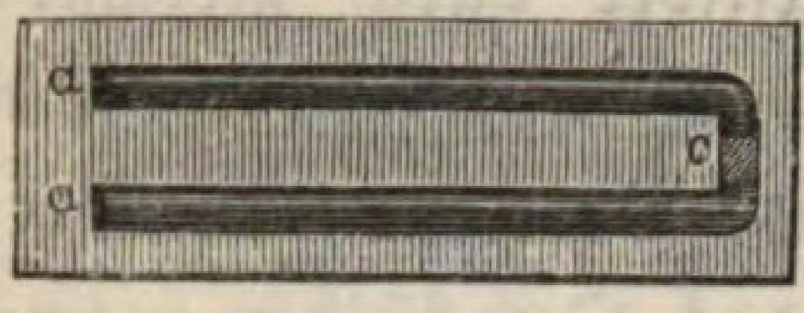
Fig. 328.



waren, mittelst des Brettchens *n* so befestigt werden, daß ihre rechtwinklig gebogenen Enden *b*, die auf mattem Glase eben geschliffen waren, bei *c*

durch leichte Federung in Berührung kamen. Auf den einen Draht wurde nun das Ende eines an einem Klötzchen befestigten Messingstreifens gelegt und dieser dann irgendwo, etwa bei *o*, durch eine darunter gesetzte kleine Oellampe, deren Flamme das Metall nicht berührte, erwärmt. Bei Versuchen mit Quecksilber befand sich dasselbe in einer in Holz geschnittenen Rinne, deren halbe Länge *a c*, Fig. 329, 28 Centimeter betrug, und war bei *a a* mit dem Multiplicator verbunden und bei *c* durch eine eingeschobene Scheidewand aus Kork getrennt. Die Erwärmung des Endes der einen Rinne geschah hier durch einen Eisenstreifen. Die Scheidewand wurde weggenommen, wenn das Quecksilber auf der einen Seite derselben erwärmt war.

Fig. 329.



Mit diesem Apparate erhielt Henrici die in folgender Tabelle enthaltenen Resultate, wobei die Stromsrichtung vom Warmen zum Kalten (an der Berührungsstelle) als positiv bezeichnet ist.

Metalle.	Strom.	Abweichung am Galvanometer.
1. Kupfer in Drähten	+	3°, 4°
2. Messing in Drähten	+	5°, 4°
3. Silber in Drähten aus gewöhnlichen Thalern	+	3°, 1°
4. Dieselben Drähte geglüht	+	4°, 3½°
5. Silber in Drähten (von den feinsten hannöverschen Thalern, sehr rein)	—	2°, 3°
6. Dieselben Drähte, beide geglüht	—	1°, 1°
7. Zinn in Drähten	+	3½°, 2°
8. Kadmium desgl.	+	2°, 1½°
9. Platin desgl.	+	5°, 4°
10. Dasselbe geglüht	+	7°, 6°
11. Gold in Drähten	+	5°, 5½°
12. Neusilber desgl.	+	6°, 7°
13. Nickel in Streifen	+	13°,14°
14. Zink in Streifen	—	11°,12°
15. Zink in Drähten	—	14°,16°
16. Eisen desgl.	—	15°,16°
17. Antimon in dünnen Stangen	—	20°,20°
18. Wismuth desgl.	—	40°,50°
19. Blei in Drähten		0°
20. Quecksilber		0°

Die Drähte waren nicht über 2 Millimeter dick, und die beiden in der Tabelle enthaltenen Ablenkungen wurden erhalten, jenachdem der eine oder der andere Draht erwärmt wurde.

Welch großen Einfluß Aenderungen in der Härte &c. auf den Erfolg haben, zeigen folgende mit den Messingdrähten Nr. 2 von Henrici angestellte Versuche. Zuerst gaben sie bei abwechselnder Erwärmung positive Ströme von 4° und 5°, nachdem sie aber in einer Weingeistflamme stark ausgeglüht und mit Bimsstein gereinigt waren, negative Ströme von 1½—3°. Geglüht während fortgesetzter Berührung gaben dieselben Drähte nach dem Erkalten und ohne vorherige Reinigung bei abwechselndem Erwärmen Ströme von 20°—30°. Als die Enden nachher flach gehämmert und wieder gereinigt waren, gab die Erwärmung des einen Endes einen positiven Strom von 3°, die Erwärmung des andern einen negativen von 5½°. Nach wiederholtem Glühen und Reinigen gaben die Drähte zuerst positive Ströme von ¼° und ½° und bei zunehmender Erwärmung negative von 4° und 5°. Das auffallendste Beispiel von solchen Umkehrungen der Stromesrichtung erhielt Henrici an zwei Kadmiumdrähten, sie gaben anfangs positive Ströme von 1½° und 2°, bei größerer Wärme negative von 4° und 4°, dann wieder positive von 3° und doch zeigten sich beim Abnehmen der Drähte beide Berührungsstellen völlig glänzend und anscheinend frei von Oxyd.

Henrici hat auch den Erfolg untersucht, wenn der ununterbrochene Schließungsdraht des Galvanometers an irgend einer Stelle erwärmt wurde. Er verwendete hiezu Drähte von Kupfer, Messing, Platin, Zink, Neusilber, Eisen und Kadmium und fand beinahe an allen solche Stellen, deren Erwärmung durch den Messingstreifen bald einen positiven, bald einen negativen Strom hervorrief. Da Henrici geneigt ist, den Erfolg bei getrennten Drähten, deren einer erwärmt wird, einer dadurch bewirkten weitern Ungleichheit entweder der Structur im Innern oder der Beschaffenheit der Oberfläche anzunehmen, so schließt er aus den eben angeführten Versuchen, daß an den wirksamen Stellen dieser ganzen Drähte ebenfalls innere Structurverschiedenheiten vorhanden seyen. Henrici vermuthet ferner, daß die Veränderungen in der Beschaffenheit der Oberfläche und der Structur, welche durch die Erwärmung bewirkt werden, eine Ungleichheit in dem Strahlungsvermögen im Gefolge haben möchten, und daß hierin der eigentliche Grund der ganzen Reihe der Erscheinungen liege, obwohl er zugesteht, daß bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse über die Bewegung der Wärme im Innern der Körper noch nicht wohl daran gedacht werden könne, zu erklären, wie eine Aenderung in der Richtung dieser Bewegung Elektricitätsentwickelung zur Folge haben könne. Merkwürdig bleibt jedenfalls für eine künftige Theorie die von Henrici festgestellte Erfahrung, daß das Ausglühen die Metalle in der thermoelektrischen Reihe dem Wismuth näher bringt.

306 **Pyroelektricität der Krystalle.** Schon Hauy erkannte, daß das Auftreten der Elektricität beim Erwärmen gewisser Krystalle mit der Hemiëdrie derselben im Zusammenhang stehe, ohne jedoch die Art dieses Zusammenhanges näher zu verfolgen. Brewster (Pogg. Ann. 2. Bd. p. 301) entdeckte später viele Körper, welche beim Erwärmen polar-elektrisch werden, ohne daß an den Krystallen derselben bis jetzt eine Hemiëdrie beobachtet worden wäre; daher man noch nicht berechtigt ist, anzunehmen, daß galvanische Elektricität und polarische Hemiëdrie stets eine Folge von einander sind.

Die Erscheinung der polaren Elektricität während des Erwärmens oder des Erkaltens findet sich aber doch am stärksten an hemiëdrischen Krystallen ausgeprägt und hier findet auch ein bestimmter Zusammenhang zwischen der elektrischen Polarität und der Krystallform statt. Köhler (Pogg. Ann. 13. Bd. p. 629) hat dies für Borazit und Kieselzinkerz nachgewiesen, bei dem Turmalin aber hatte er einen solchen noch nicht ausfindig gemacht.

Rose (Pogg. Ann. 39. Bd. p. 285) hat die Beziehungen der elektrischen Polarität des Turmalins zu seiner Krystallform ausführlich untersucht und gelangt zu folgendem Resultate: Die vorherrschende Form des Turmalins ist eine dreiseitige Säule, welche an beiden Enden durch Rhomboederflächen begränzt ist; an dem einen Ende nun treffen die Kanten des Rhomboeders auf die Kanten der Säule, wie Fig. 330, wo *g* die zur Linie verkürzten Säulenflächen, *R* die Rhomboëderflächen sind. Am andern Ende aber treffen die Rhomboëderkanten auf die Mitte der Säulenflächen, wie Fig. 331 zeigt. Während die Temperatur steigt, zeigt nun das Ende Fig. 330 positive, das Ende Fig. 331 negative Elektricität; bei sinkender Temperatur hingegen ist das Ende Fig. 330 negativ, das andere aber positiv elektrisch.

Fig. 330.

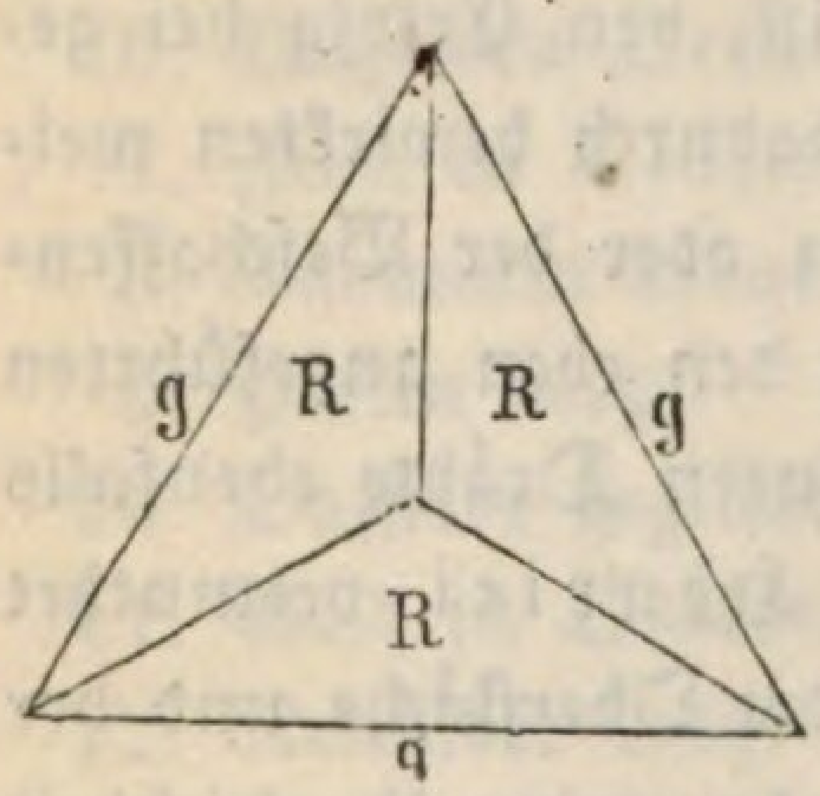
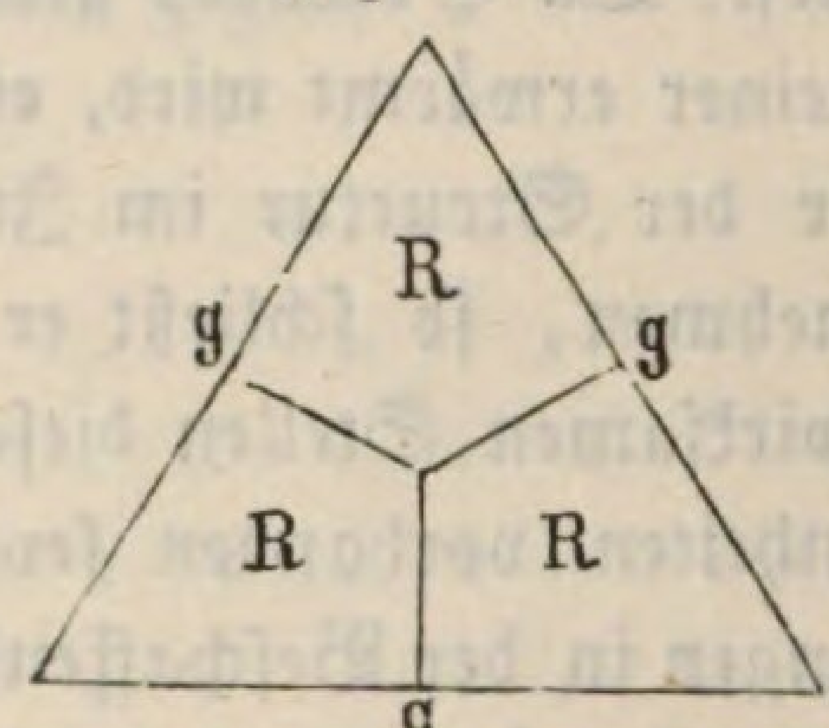


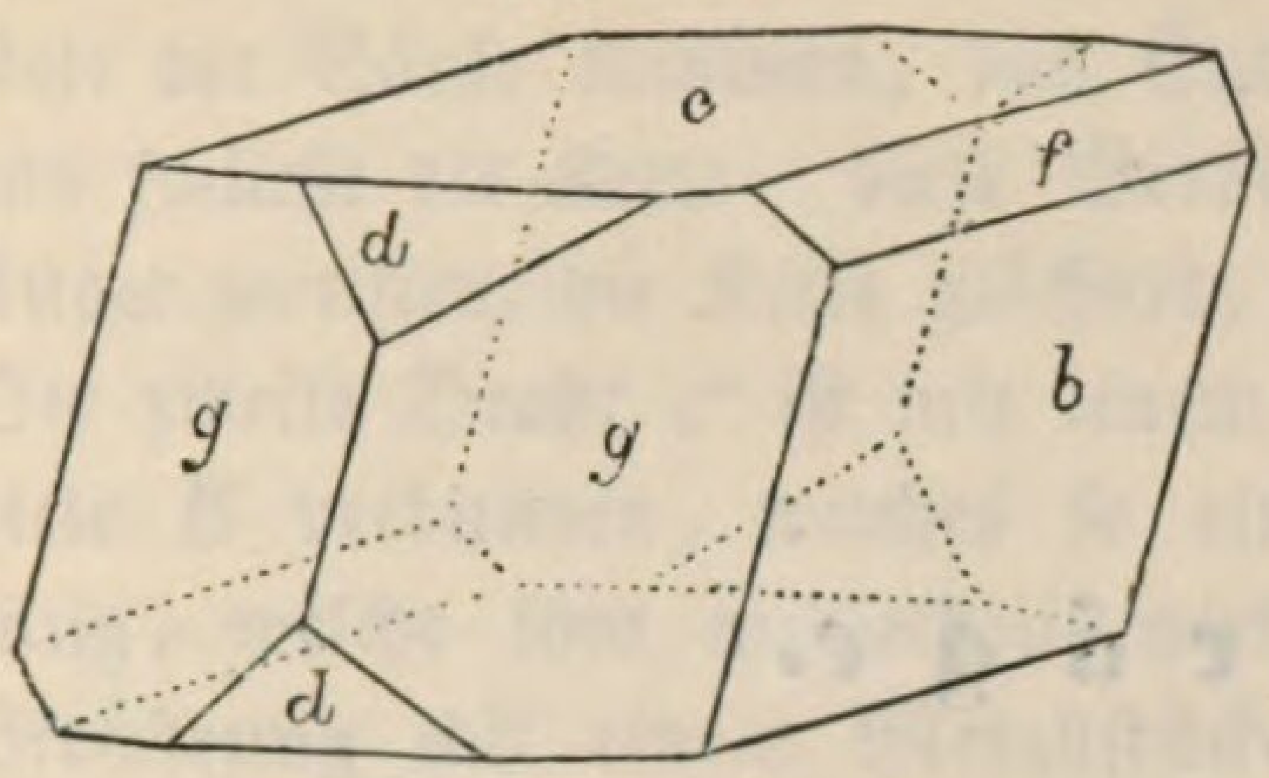
Fig. 331.



Hankel (Pogg. Ann. 49. Bd. p. 493) wandte zur Bestimmung der elektrischen Polarität von Krystallen das Bohnenberger'sche Elektroskop an. Der Zucker zeigte eine solche Polarität, wenn seine Temperatur stieg oder abnahm, wie dies bereits Brewster beobachtet hatte. Die Krystallform des Zuckers ist die Fig. 232 dargestellte; er ist aber häufig in der Art hemiëdrisch, daß die beiden Flächen *d* an der vorderen Kante

fehlen, während sie an der gegenüberstehenden hintern Kante auftreten. Hankel fand nun, daß beim Erkalten dasjenige Ende negativ elektrisch ist, an welchem die Flächen d fehlen, positiv hingegen an der gegenüberliegenden Kante, wo sie sich vorfinden. Beim Erwärmen zeigt der Krystall natürlich die entgegengesetzte Polarität.

Fig. 332.



Hankel untersuchte ferner in dieser Beziehung die Weinsäure, das weinsaure Kali-Natron, das Kieselzinkerz, bei welchem er Köhler's Angaben bestätigt fand, den Axinit, Prehnit und Mesotyp. Wir können hier natürlich nicht auf die Details dieser Untersuchung eingehen.

In mehreren Aufsätzen, die sich im 50. Bande von Poggendorff's Annalen finden, bespricht Hankel ferner die elektrische Polarität des Turmalins, bei welchem er Rose's Angaben bestätigt findet, des Topases, des Titanits, des Borazits und des Bergkrystalls.

Eine neue gründliche Untersuchung des besprochenen Gegenstandes haben G. Rose und Rieß angestellt. Sie bezeichnen die beim Erwärmen und während der Erkaltung von Krystallen auftretende Elektricität, nach Brewster's Vorgang, mit dem Namen der Pyroelektricität, um nicht zwei ganz verschiedene Erscheinungen unter dem Namen der Thermoelektricität zusammenzufassen.

Denjenigen Pol des Krystalls, an welchem das algebraische Zeichen des Temperaturzuwachses dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entspricht, nennen sie den analog elektrischen Pol; den andern Pol nennen sie den antilog elektrischen Pol.

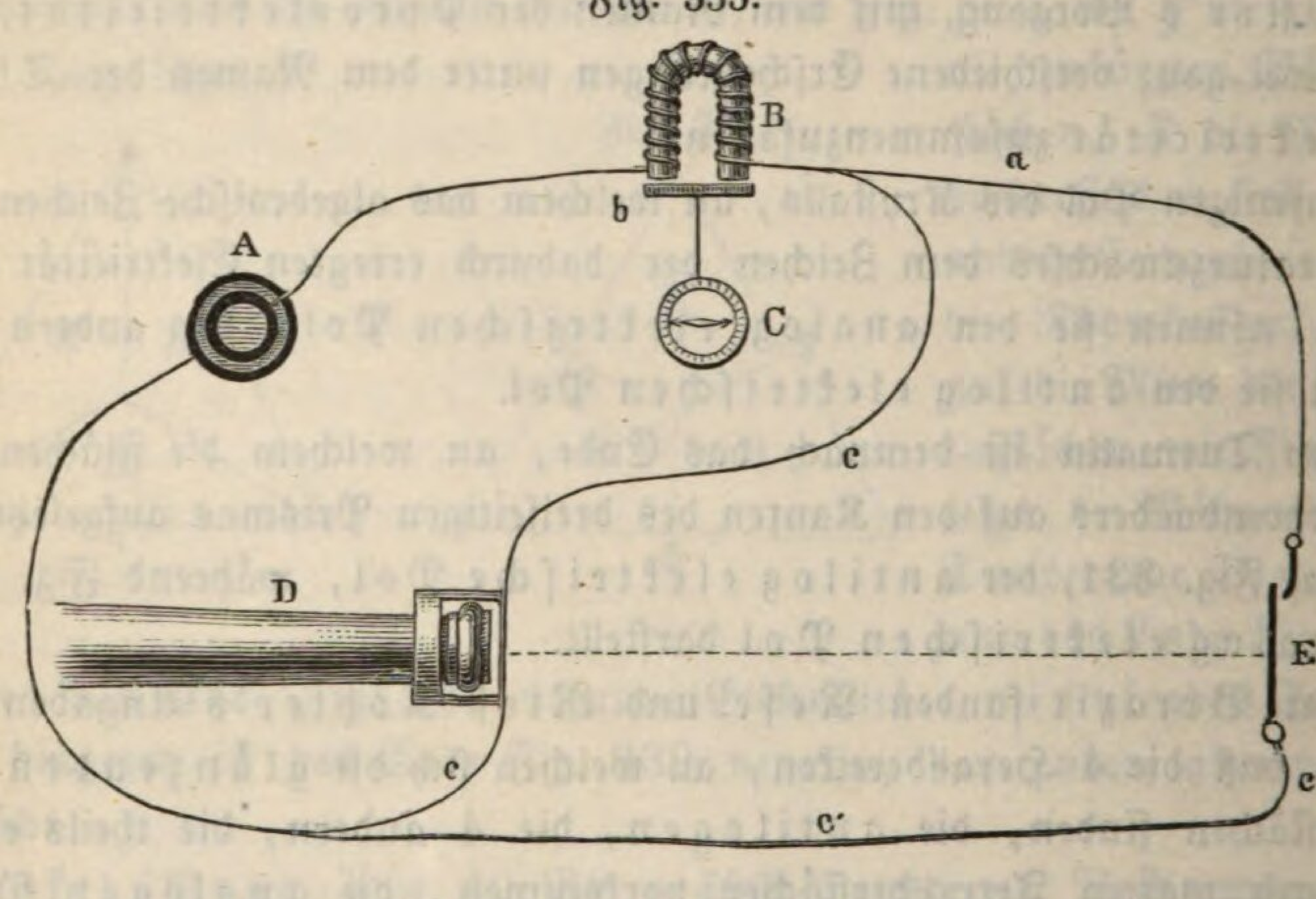
Beim Turmalin ist demnach das Ende, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen, Fig. 331, der antilog elektrische Pol, während Fig. 330 den analog elektrischen Pol darstellt.

Beim Borazit fanden Rose und Rieß Köhler's Angaben bestätigt, daß die 4 Hexaëderecken, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die antilogen, die 4 andern, die theils ohne, theils mit matten Tetraëderflächen vorkommen, die analogen Pole sind. Hankel's Behauptung hingegen, daß der Borazit außer diesen 4 Axen noch 3 andere habe, die mit den Octaëderaxen des Krystalls zusammen fallen sollen, bestreiten sie. Sie weisen nach, daß Hankel's Beobachtungsmethode zu Täuschungen Anlaß gab, welche außer dieser noch mehrere andere irrige Behauptungen zur Folge hatten.

Nachträge.

307 **Das elektrische Chronoskop.** Die große Geschwindigkeit der elektrischen Ströme benutzte Wheatstone, um sehr kleine Zeiträume zu messen, und zwar befindet sich die erste Nachricht hiervon nach Wheatstone's eigener Angabe (Compt. rend. XX. p. 1555) in dem Bulletin über die Sitzung der Brüsseler Akademie der Wissenschaften vom 7. October 1840. Die nächste Absicht Wheatstone's war, die Zeit zu messen, welche Geschützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die schematische Fig. 333.

Fig. 333.



A ist die elektrische Batterie; einer ihrer Pole ist mit dem Elektromagneten *B* verbunden; ist der Strom geschlossen und also der Anker des Magnets angezogen, so steht die Uhr *C* still; verliert aber der Magnet seine Kraft, so zieht eine Feder den Anker *b* ab und dadurch wird das Uhrwerk *C* ausgelöst und läuft so lange bis der Strom wieder geschlossen wird.

Dieses Oeffnen und Schließen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weise. Um die Mündung des Geschützes D ist ein Holzring gelegt, über welchen einer der beiden Drähte c, c' gespannt ist, welche vom anderen Pole der Säule kommen, das Ende dieses Drahtes geht zum Magnet und schließt die Kette; diese Verbindung wird durch die heraustretende Kugel zerrissen, die Kette geöffnet, und so die Uhr in Bewegung gesetzt. Der zweite Draht c' ist mit einem in beliebiger Entfernung aufgestellten Ziele E verbunden, welches so eingerichtet ist, daß die geringste Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallstücke bringt, welches durch den Draht a mit demselben Pole des Magnets verbunden ist, wie der Draht c. Berührte nun die Kugel das Ziel, so wurde dadurch die Kette abermals geschlossen, der Anker angezogen und das Uhrwerk gestellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an. Ein solches Chronoskop, welches in der Artillerieschule zu Woolwich einer Commission von Officieren vorgezeigt wurde, gab $1/_{7300}$ Secunden an.

Wheatstone fand indessen eine bedeutende Fehlerquelle darin, daß der Anker nicht rasch genug vom Magnet losging und ebenso nicht rasch genug angezogen wurde; er suchte diesem dadurch abzuhelfen, daß der Magnet vor dem Schusse nur durch ein Element angeregt wurde, dessen Wirkung er durch einen Rheostat so abglich, daß der Anker nur gerade noch haftete. Das Wiederanziehen des Ankers aber, nachdem die Kugel das Ziel berührt hatte, wurde durch 6 kräftige Elemente bewirkt. Allein auch so waren Annäherungen von $1/_{500}$ — $1/_{1000}$ Secunde noch ganz unsicher. Wheatstone glaubt aber Annäherungen auf $1/_{60}$ Secunde sicher erreichen zu können.

Später construirte Wheatstone ein Chronoskop, bei welchem das Gewicht an einem auf der Axe des Hemmrades mit sehr einfacher Hemmung aufgewickelten Faden hing und der Zeiger an derselben Axe steckte. Die Art der Hemmung ist jedoch nicht näher angegeben, so wenig als die übrigen Vorrichtungen, welche Wheatstone anwendete, um mittelst dieses Instruments die Zeit zu messen, welche eine Pistolenkugel zu verschiedenen Flugweiten bei verschiedener Ladung gebrauchte, und zur Messung der Fallzeit bei Fallhöhen von 1 Zoll; er will jedoch sehr übereinstimmende Resultate erhalten haben.

Für den folgenden Apparat gebe ich wörtlich die Beschreibung, wie sie in Pogg. Ann. Bd. 65, S. 458 übersetzt ist. »Eine für gewisse Versuche wichtige Abänderung des Apparats will ich noch erwähnen. Sie besteht darin, daß man, statt die Kette zu öffnen und wieder zu schließen, wie zuvor gesagt, den Elektromagneten mittelst zwei gleicher und entgegengesetzter Ströme im Gleichgewicht hält, und darauf den ersten und

den zweiten Strom unterbricht. Der zweite Strom wird durch eine Kugel unterbrochen, die einen Rahmen durchfliegt, der in parallelen, dicht zusammen liegenden Linien mit einem in der Kette befindlichen, sehr feinen Metalldraht überzogen ist. Diese Vorrichtung liefert die Mittel zur Anwendung eines von dem ersten ganz verschiedenen Chronoskops. Zwei Pendel, von denen das eine halbe Secunden schlägt und das andere einen etwas schnellern Gang hat, werden jedes an dem Ende ihres Schwingungsbogens durch einen Elektromagneten gehalten. Wenn die Kugel aus dem Gewehr fliegt, wird das eine Pendel in Freiheit gesetzt und wenn sie den Metalldraht des Rahmens zerreißt, geschieht es mit dem andern. Man zählt alsdann die Schwingungen eines der Pendel, bis seine Bewegung mit der des andern zusammenfällt, und hernach bestimmt man leicht die Zeit, welche die Anfrage der ersten Schwingungen beider Pendel trennte.«

Es ist mir nicht klar, wie dieser letztere Apparat mit dem Elektromagneten mit zwei entgegengesetzten Strömen in Verbindung steht.

Wheatstone hatte übrigens die Zeichnungen zu seinem Apparate im Mai 1841 auch in Paris gezeigt und auch einen für den russischen Artillerie-Hauptmann v. Konstantinoff verfertigen lassen. Letzterer hätte übrigens gerne einen Apparat gehabt, wodurch man die Geschwindigkeiten einer Kugel auf verschiedenen Stellen ihrer Bahn hätte bestimmen können, ohne daß seine Unterredungen mit Wheatstone in dieser Beziehung zum Ziel führten.

In Paris angekommen, wendete sich v. Konstantinoff an Breguet, um eine Maschine nach seinen Ideen für den genannten Zweck zu erhalten. Breguet verfertigte auch eine solche und beschrieb sie in einer in dem Compt. rend. XX. p. 157 abgedruckten Note. Die Maschine ist sehr complicirt und ihre Beschreibung keineswegs in der Absicht abgefaßt, Andern dadurch eine vollkommen klare Einsicht in dieselbe zu geben. Da meines Wissens keine ähnlichen Maschinen gefertigt wurden und die mit dem einen nach St. Petersburg gekommenen Exemplare angestellten Versuche mir ebenfalls nicht bekannt wurden, so mag hier die Bemerkung genügen, daß der Hauptapparat fünf Elektromagnete hat, wovon drei auf einem Wagen sich befinden, der auf einer Schienenbahn vor einer Walze sich bewegt. Zwei dieser Magnete des Wagens tragen Stifte, welche, so lange der Anker angezogen ist, auf der ebenfalls sich bewegenden Walze einen Eindruck machen.

Herr Breguet hatte die Eitelkeit, nachdem er doch im Eingange der Arbeiten Wheatstone's und der Bekanntschaft von Konstantinoff's mit diesem Erwähnung gethan, und nachdem er die zu erfüllenden Bedingungen aufgezählt hatte, zu sagen: Il nous vint naturellement dans

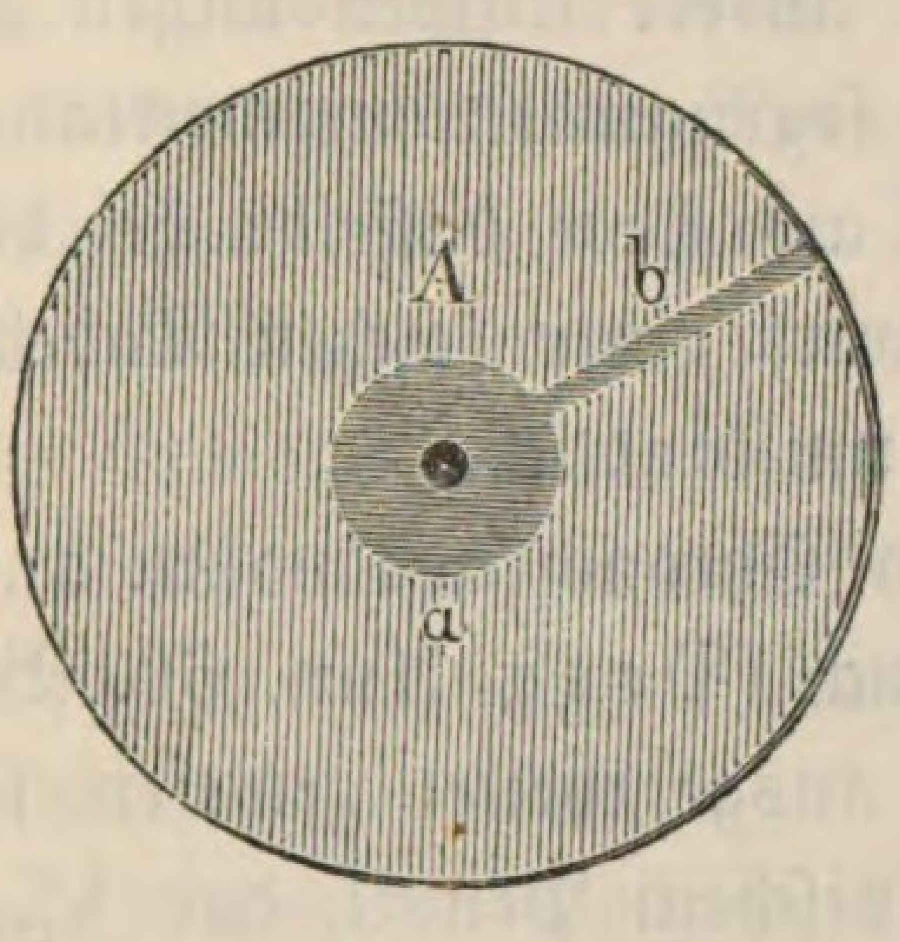
l'idée, d'employer pour cet objet l'électricité, was eben zunächst die Bekanntmachung Wheatston's und eine nicht sehr erquickliche Correspondenz herbeiführte.

Breguet's Veröffentlichung war jedoch durch eine ähnliche von Pouillet hervorgerufen worden, welcher zwar ebenfalls elektrische Ströme, aber auf ganz anderem Wege anwendete.

Pouillet geht nämlich von der Ansicht aus, daß die Größe der Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom von der Stärke des letzteren und der Zeit abhänge, während welcher der Strom auf die Nadel wirkt, wenn diese letztere überhaupt nur klein ist. Man kann also aus dem unter verschiedenen Umständen erfolgenden Ausschlage auf die Zeit schließen, wenn immer der gleich starke Strom angewendet wird und das Verhältniß zwischen Zeit und Ausschlag bekannt ist. Pouillet hat das letztere nicht theoretisch entwickelt, sondern durch Versuche auf folgende Weise eine Tabelle construirt.

Auf eine runde Glasplatte A, Fig. 334, von 84 Centimeter Durchmesser, welche um eine Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolstreifen a, von diesem aus aber ein gerader Streifen b als Halbmesser geklebt, der nur ein Millimeter Breite hatte. Von den beiden Stromenden ruhte das eine federnd auf den Stanniolstreifen, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, so schließt sich die Kette so oft und auf so lange, als sich der Stanniolstreifen b unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasscheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Axe die Zeit der Schließung leicht bestimmen, sie war bei Pouillet, wenn die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und diese in einer Secunde einmal gedreht wurde, $^1/_{2250}$ Secunden.

Fig. 334.

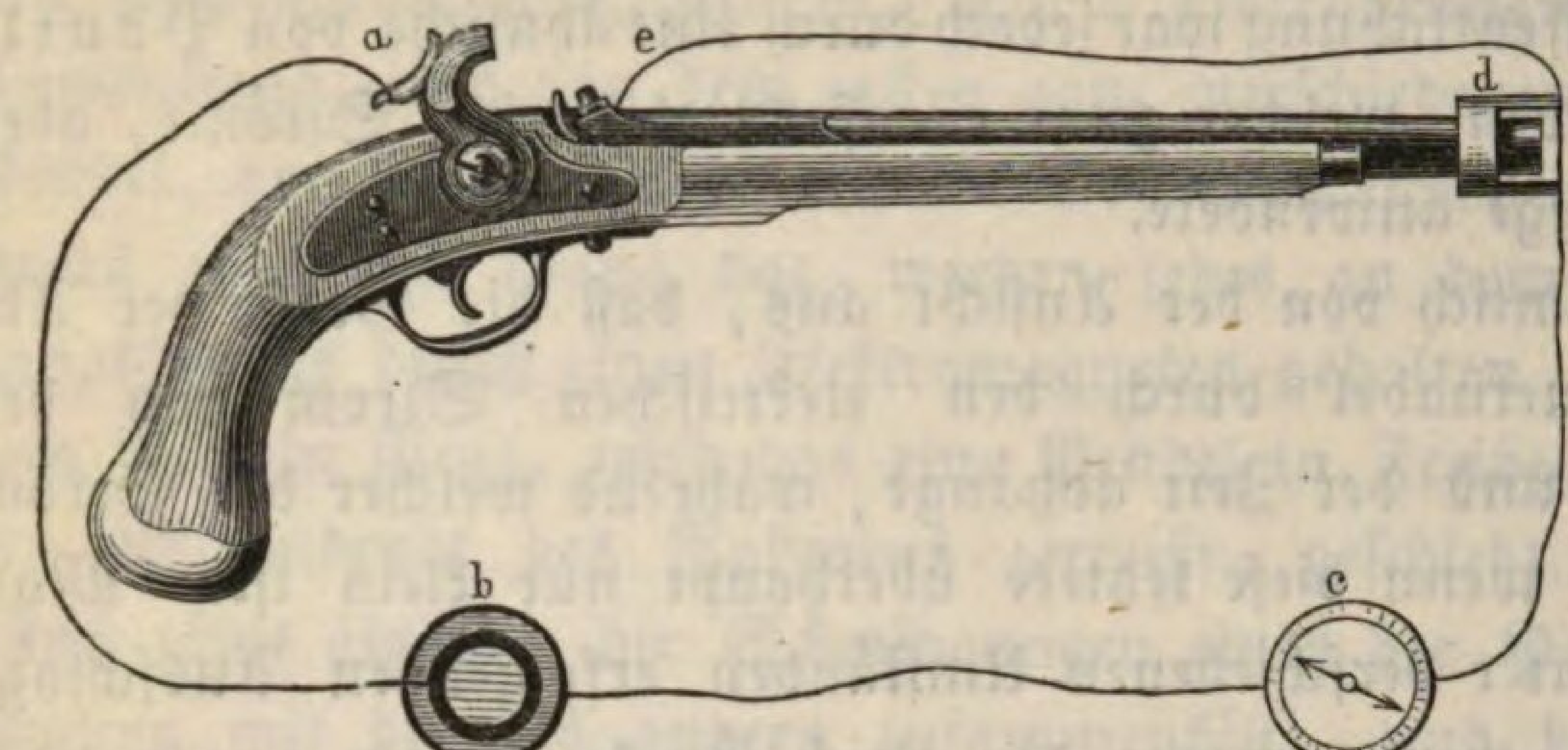


Pouillet fand, daß der Strom einer Säule aus sechs Daniell'schen Elementen, der 40 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser zu durchlaufen hatte und während $^1/_{5000}$ Secunde auf die Nadel eines wenig empfindlichen Galvanometers wirkte, eine Ablenkung von 12 Graden bewirkte, welcher Bogen die Nadel in 10 Secunden zurücklegte. Mit einem andern empfindlichern Instrument erhielt Pouillet bei einem Elemente und 20 Meter Kupferdraht in $^1/_{5000}$ Secunde 15^0 Ablenkung.

Pouillet hat nur Versuche über die Geschwindigkeit der Pulverent-

zündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte. Das Schloß eines Gewehres wurde vom Laufe isolirt, und der Hahn *a*, Fig. 335 mit dem einen Pole einer Volta'schen Batterie *b* verbunden. Von dem andern Pole führte ein Draht zum Multiplicator *c* und von diesem über einen Holzring *d* vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen *e*. Die Kette war also geschlossen von dem Augenblick, wo der Hahn aufschlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verließ. Bei der angewendeten Ladung fand Pouillet diese Zeit = $1/_{140}$ — $1/_{150}$ Secunden. Pouillet hoffte, daß sein Instrument noch manche andere Anwendungen gestatten werde, namentlich um die Dauer der sogenannten momentanen Ströme zu bestimmen; es scheint aber nicht, als habe dasselbe bei den Physikern vielen Beifall gefunden. Der Entwurf einer solchen Tabelle, wie sie oben erwähnt wurde, ist jedenfalls sehr umständlich.

Fig. 335.



Die Priorität der Erfindung des elektrischen Chronoskops nahm auch Siemens für die preußische Artillerie in Anspruch (Pogg. Ann. 66. Bd. S. 435), indem bereits 1838 der ganze Plan ausgearbeitet gewesen sey und nur die Ausführung des Uhrwerks mit conischem Pendel, das $1/_{1000}$ Secunden angiebt, habe die wirklichen Versuche bis 1842 aufgehalten; die Sache selbst sey aber seiner Zeit in öffentlichen Blättern besprochen worden.

An dem Uhrwerk war ein Zeiger so angebracht, daß er durch die Wirkung eines Elektromagneten mit dem im Gange befindlichen Uhrwerk verbunden und durch einen zweiten Elektromagneten wieder ausgelöset wurde, wenn die Kugel das Ziel traf.

Man erkannte bald, daß die Erregung des Magnetismus immer einen großen Bruchtheil der zu messenden Zeit in Anspruch nahm und daß das Gleiche mit den mechanischen Zwischengliedern der Fall sey, welche die Bewegung des Ankers auf den Zeiger überpflanzen sollten. Die ersteren Fehler vermied man, indem man statt des Anziehens eines Ankers, das Abfallen eines solchen, der nur noch schwach vom Magnete getragen wurde, benutzte, um auf den Zeiger zu wirken. Während also vorher die Kugel beim Austritt aus dem Rohr sowohl als beim Ankommen am

Ziel eine Kette zu schließen hatte, wurde jetzt in beiden Fällen ein Strom unterbrochen. Man erhielt im Allgemeinen damit im Sommer 1844 befriedigende Resultate.

Siemens selbst hatte die unmittelbare Wirkung des elektrischen Funkens vorgeschlagen, ohne alle mechanischen Zwischenmittel und führte dieses später auch in folgender Weise aus. Ein stählerner, sorgfältig gearbeiteter, isolirter Cylinder, wurde durch ein Uhrwerk mit conischem Pendel in gleichmäßig schnelle Rotation versetzt; diesem möglichst nahe stand eine ebenfalls isolirte Metallspitze, welche mit dem innern Belege einer geladenen Leydner Flasche verbunden war; von dem äußeren Belege führte ein Draht vor der Geschützmündung vorbei und ebenso ein vom Cylinder kommender, beide in einem die Schlagweite übertreffenden Abstande von einander. Die heraustretende Kugel setzt diese beiden Drähte in Verbindung, die Flasche wird entladen und der Funke macht auf dem polirten Stahlcylinder einen leicht erkennbaren, scharf begränzten Punkt. In beliebiger Entfernung ist ein zweites Drahtpaar mit einer zweiten Leydner Flasche aufgestellt, und auf gleiche Weise mit Cylinder und Stift verbunden. Der Abstand beider durch die Entladung bewirkte Punkte auf dem Cylinder und seine Rotationsgeschwindigkeit geben die Zwischenzeit an. Man kann noch mehrere Drahtpaare anbringen oder in größere Entfernungen Rahmen mit parallelen Drähten, wovon z. B. 1, 3, 5 . . . mit dem Cylinder, 2, 4, 6 . . . mit dem äußeren Belege der Flasche verbunden sind. Nach jedem Schusse braucht man nur die Spitze vor dem Cylinder zu verrücken. Das Instrument befindet sich dabei in einem benachbarten Zimmer.

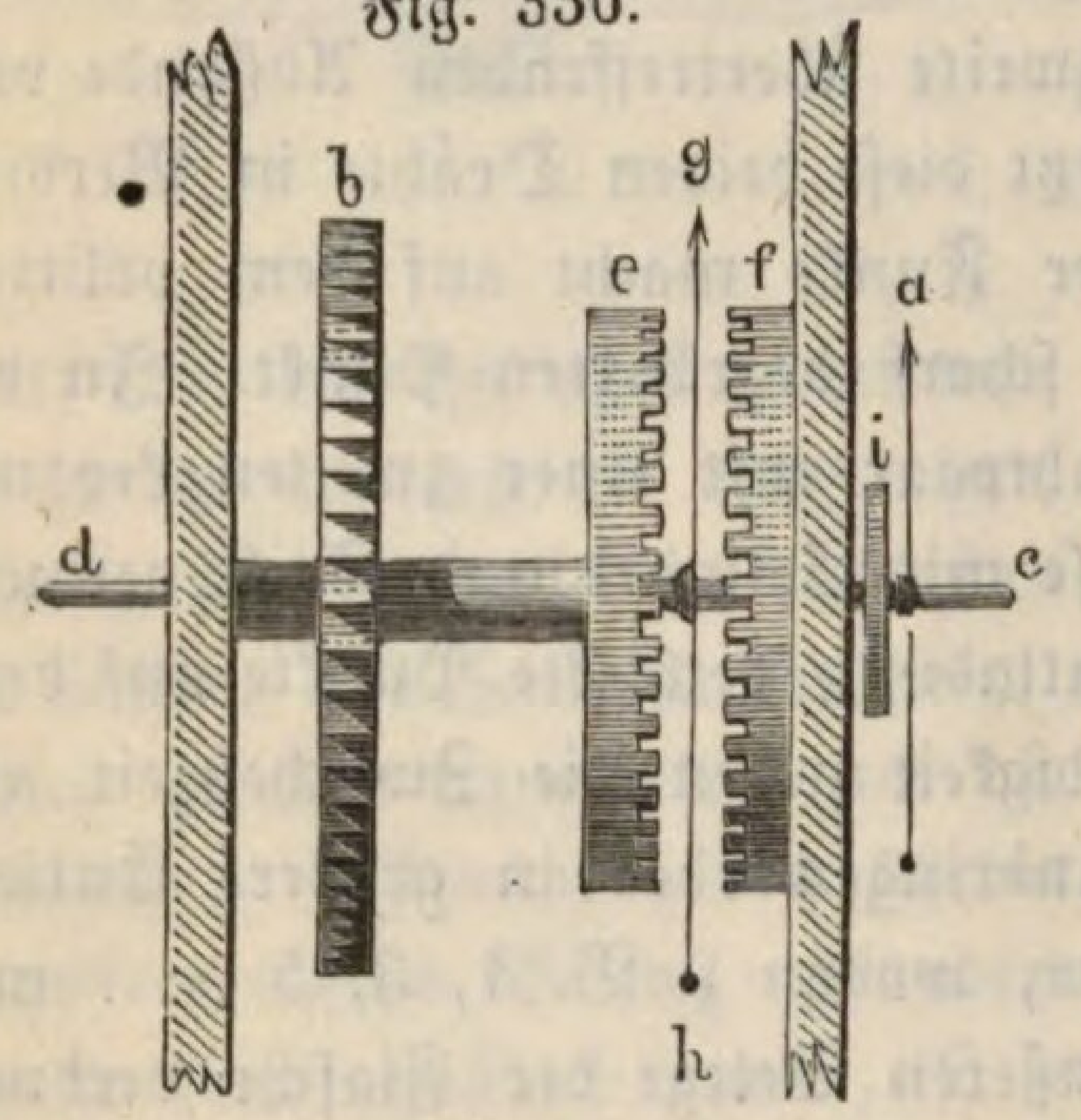
Für größere Bahnstrecken glaubt jedoch Siemens selbst das Instrument nicht brauchbar, da er es für schwierig hält, in diesem Falle die Drähte gehörig zu isoliren. Er schlägt für diesen Fall vor, Cylinder und Stift mit einer Inductionsrolle zu verbinden, um durch den Schuß den inducirenden Strom unterbrechen zu lassen.

Resultate, die man durch solche Versuche erhalten hätte, habe ich nirgends auffinden können. In Wheatstone's Chronoskop erkannte der Uhrmacher und Mechaniker Hipp (Pogg. Ann. 1848, Nr. 8) als Hauptfehler den Umstand, daß das Uhrwerk erst beim Beginne der zu messenden kleinen Zeit in Gang gesetzt wird, wobei nothwendig eine größere, jedoch für alle Versuche etwa gleiche Zeit verstreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen ist, eine Zeit, die in manchen Fällen selbst größer seyn wird, als die zu messende, wenn sie gleichwohl verschwindend klein ist, sobald man den Gang des Uhrwerks mit einer andern Uhr vergleicht. Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, daß er den Zeiger der Uhr nur durch den Elektromagneten mit dem schon in Gange befindlichen Uhrwerk

verbinden ließ, so lange die zu messende Zeit dauerte, und Oehlschläger will bei Fallversuchen mit einem solchen Instrumente, welches $1/_{500}$ Secunden angab, sehr gute Resultate erhalten haben, selbst bei Fallhöhen von 20—1500 Millimetern.

Der Apparat von Hipp ist in Dingler's polyt. Journal 114. Bd. näher beschrieben und abgebildet. Das Echappement des Uhrwerks besteht in einer Feder, deren Spitze die Zähne des Steigrades berührt. Die Axe des vorletzten Rades *b*, Fig. 336 (es ist dieses ein Stirnrad mit gewöhnlichen Zähnen, um in das Getriebe des Steigrads zu greifen, während die beiden Kronräder *e* und *f* spitzige Zähne haben), welches sich in $1/_{10}$ Secunde dreht, ist durchbohrt, und durch diese Oeffnung ist die Axe *cd* des Zeigers *a* gesteckt, welcher sich vor einem in 100 Theile getheilten Zifferblatte befindet und durch ein auf der Außenseite der Uhr befindliches Zwischenrad *i*, dessen Zähne in ein größeres unter ihm befindliches Rad eingreifen, einen zweiten, in der Zeichnung weggelassenen, Zeiger dreht, der in 10 Secunden umläuft, so daß also 100 Umdrehungen des Zeigers *a* auf 1 Umdrehung des unteren Zeigers kommen.

Fig. 336.



Auf der Axe des Rades *b* sitzt das Kronrad *e* und dreht sich mit ihr; diesem parallel ist das Kronrad *f* unbeweglich an der Platine der Uhr befestigt; zwischen beiden steckt fest auf der Axe *cd* der Zeiger *gh*, und auf die Axe wirkt auf der Seite von *d* der Anker des Elektromagnets, welcher den Zeiger *gh* gegen *f* drückt, so lange der Strom geschlossen ist, wodurch ein Stillstehn des Zeigers *a* bedingt ist; dagegen aber zieht eine Feder den Zeiger *gh* gegen *e*, wenn der Strom nicht geschlossen ist, und während dieser Zeit nimmt er also an der Bewegung Theil.

Fig. 337.

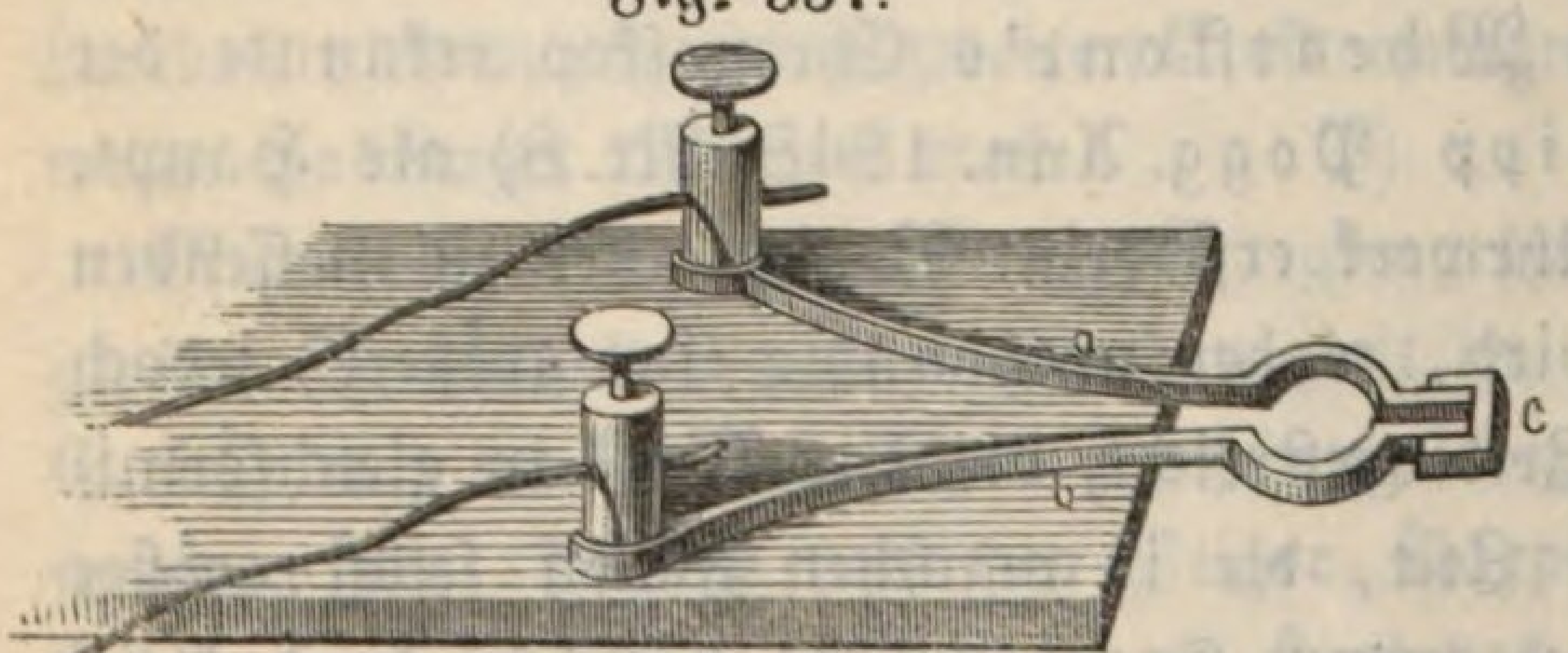
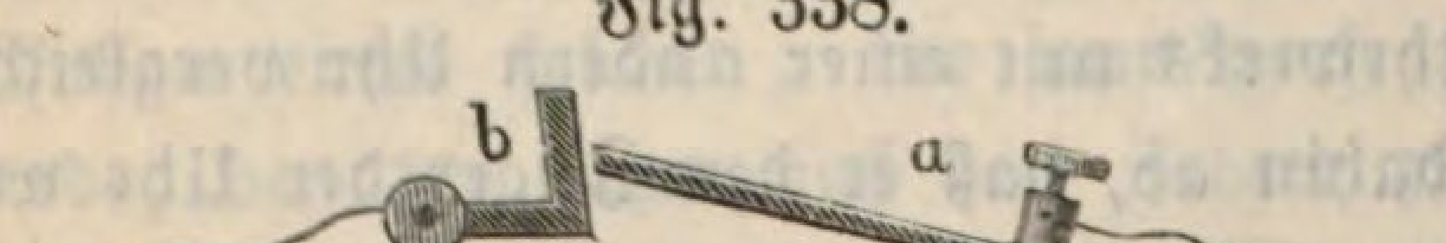


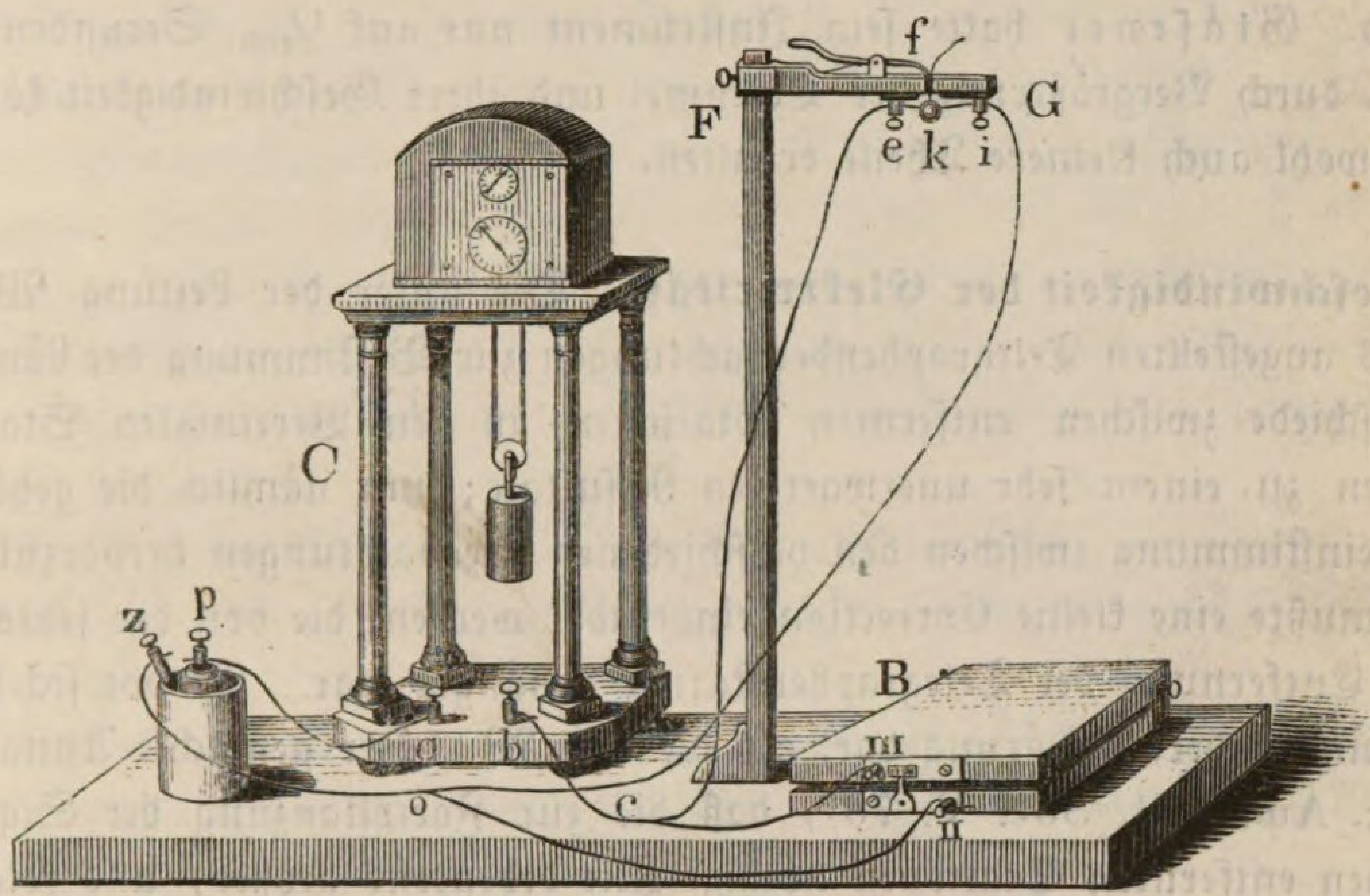
Fig. 338.



Sollen Fallzeiten gemessen werden, so liegt eine metallene Kugel zwischen den beiden federnden und mit Klemmschrauben versehenen metallenen Armen *ab*, Fig. 337, und schließt den Strom; zieht man aber die isolirende Klemme *c* weg, so fällt die Kugel, der Strom ist offen. Die Kugel fällt auf ein Blech *a* Fig. 338, welches

ebenfalls mit einem Pol der Kette verbunden ist und drückt dieses gegen die metallene Strebe *b*, wodurch der Strom wieder geschlossen wird. Man soll, selbst wenn Fallhöhen von 1 Centimeter angewendet werden, keine größeren Abweichungen vom Mittel erhalten als 1 — 2 Tausendstel einer Secunde. Die Fig. 339 zeigt ein solches Chronoskop in seiner Zu-

Fig. 339.



sammenstellung mit Kette und Fallapparat, mit der Abänderung, daß die Kugel *k*, zwischen *e* und *i* durch einen Faden gehalten wird, den ein Druck auf *f* auslös't. Die Kugel fällt auf die Brettchen *B* und stellt durch den Schlag bei *m* und *n* die Verbindung her. *F* ist ein getheilter Stab. Der Preis eines solchen Chronometers nebst Fallapparat ist von Herrn Hipp in Reutlingen auf 88 fl. gestellt. Bemerkt muß übrigens werden, daß, auch in dem oben angeführten Apparate der preußischen Artillerie (Poggend. Ann. 1846) das Uhrwerk schon vorher im Gange war, und der Zeiger nur durch die Wirkung des Stromes mit demselben verbunden wurde.

Mit der Construction solcher Chronoskope beschäftigte sich nach dem Journal de Liège vom 8. Mai 1849 auch Professor Gläsener zu Lüttich. Auch er wendete ein schon im Gange befindliches Uhrwerk an; um jedoch die Fehlerquelle zu vermeiden, welche von der Zeit herrührt, die zur Erregung des Magnetismus in Eisen erforderlich ist, wählte er nur die Unterbrechung der Ströme. Sein Uhrwerk trieb nämlich um eine horizontale Axe eine mit Lampenruß geschwärzte und getheilte Trommel von Metall, über der eine Anzahl stählerner Spitzen in ½ Millimeter Entfernung sich befanden, die an Ankern befestigt waren, von denen jeder durch einen eigenen Elektromagneten angezogen wurde. Durch eine Messingfeder war

diese Anziehung so regulirt, daß die geringste Stromverminderung das Abfallen des Ankers bewirkte. Wurde nun durch das Aufschlagen des Hahns der Strom der ersten, durch das Austreten der Kugel jener der zweiten, in einiger Entfernung jener der dritten Spitze u. s. w. unterbrochen, so ließen sich aus der Stelle, wo die Eindrücke der Stahlspitzen begannen, die Zeiten angeben, welche zu den einzelnen Wegen erforderlich waren. Gläsener hatte sein Instrument nur auf $1/_{100}$ Secunden getheilt, durch Vergrößerung der Trommel und ihrer Geschwindigkeit könnte man wohl auch kleinere Theile erhalten.

308 **Geschwindigkeit der Elektricität.** Die unter der Leitung Walker's angestellten Telegraphenbeobachtungen zur Bestimmung der Längenunterschiede zwischen entfernten Stationen in den Vereinigten Staaten führten zu einem sehr unerwarteten Resultate; um nämlich die gehörige Uebereinstimmung zwischen den verschiedenen Beobachtungen hervorzubringen, mußte eine kleine Correction eingeführt werden, die von der jedesmaligen Entfernung der Telegraphenstation abhängig war. Es bot sich hierfür keine andere Erklärung dar, als die von Walker gemachte Annahme (Proc. Am. phil. Soc. V. 76), daß die zur Fortpflanzung der Signale zwischen entfernten Stationen nöthige Zeit bedeutend größer, und folglich die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes oder vielmehr die Geschwindigkeit der Stromverbreitung, bedeutend geringer ist, als man bis dahin geglaubt hatte.

Nach den in der Nacht vom 23. Januar 1849 zwischen Cambridge und Washington angestellten Versuchen berechnete Walker, daß sich der elektrische Strom mit einer Geschwindigkeit von 18,690 englischen Meilen in der Secunde fortpflanze.

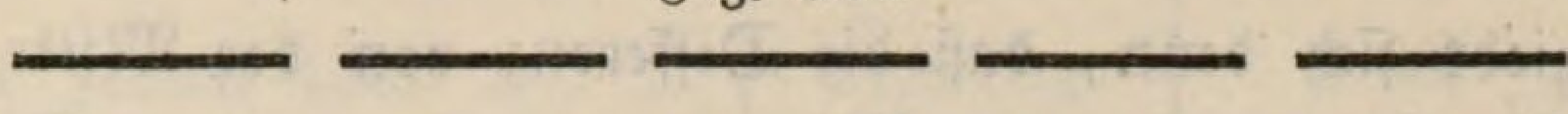
Eine zweite am 31. October 1849 angestellte Versuchsreihe ergab eine Geschwindigkeit von 16,000 englischen Meilen in der Secunde.

Am 4. Februar 1850 wurde eine dritte Versuchsreihe vorgenommen, an welcher sich auch B. A. Gould jun. betheiligte, welcher darüber ausführlich in dem American Journal (2nd series, vol. XI. p. 67, 153) berichtet (Krönig's Journal für Physik des Auslandes, Bd. III. p. 1). Die auf den verschiedenen Stationen aufgestellten Telegraphen sind Morse'sche. Die Einrichtung ist so getroffen, daß in der Ruhelage alle Schlüssel geschlossen sind und also ein Strom ununterbrochen in den Leitungsdrähten circulirt.

Nehmen wir nun an, daß am einen Ende einer langen Leitung durch das Pendel einer Uhr bei jeder Schwingung für einen Augenblick der Strom unterbrochen und unmittelbar darauf wieder geschlossen wird, so

werden die Aufzeichnungen der einzelnen Stationen das Ansehen von Fig. 340 haben.

Fig. 340.



Während nun an einer Endstation der Telegraphenleitung die Uhr aufgestellt ist, welche in der angegebenen Weise ihre Aufzeichnung auf allen Stationen macht, wird auf der andern Endstation mittelst des Schlüssels durch Unterbrechung der Leitung von Zeit zu Zeit ein willkürliches Signal gegeben. Durch dieses willkürliche Unterbrechen des Stromes wird nun auf allen Stationen in dem entsprechenden Secundenstrich eine Unterbrechung entstehen, welche wir die Signalpause nennen wollen, während der Zwischenraum zwischen je zwei Secundenstrichen die Uhrpause genannt werden soll.

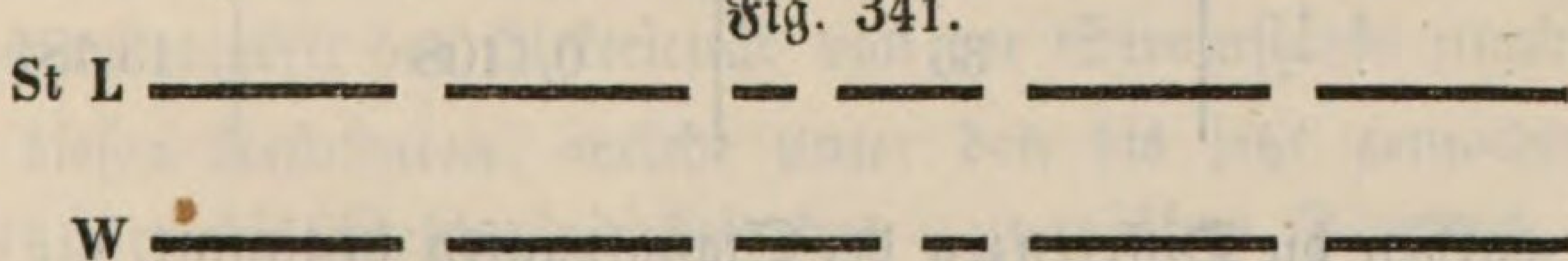
Bei den Versuchen vom 4. Februar war die Uhr in Washington aufgestellt, während die willkürlichen Unterbrechungen in St. Louis gemacht wurden.

Um leichter auffinden zu können, welches die entsprechenden Secundenstriche der verschiedenen Stationen sind, war die Einrichtung getroffen, daß zu Anfang jeder Minute eine Uhrpause ausblieb.

Wegen des ungleichen Ganges der verschiedenen Telegraphen fällt nun freilich die Länge der Secundenstriche, der Uhr- und der Signalpausen nicht auf allen Stationen ganz gleich aus, es ist jedoch leicht, sie auf gleiche Länge zu reduciren.

Es fand sich nun, daß die Signalpause auf den verschiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entsprechenden Secundenstriches markirt wurde, in St. Louis lag die Signalpause näher am Anfang, in Washington lag sie näher am Ende des Striches, welcher der gleichen Secunde angehört, wie dies Fig. 341 angedeutet ist.

Fig. 341.



Aus der Differenz in der Lage der Signalpausen läßt sich nun auf die Geschwindigkeit der Stromverbreitung schließen.

Es werde in einem bestimmten Moment, etwa in der Mitte einer Secunde, in St. Louis ein willkürliches Signal gegeben, so ist in diesem Augenblick noch nicht die Hälfte des entsprechenden Secundenstriches angekommen, die Signalpause wird also in St. Louis vor der Mitte des

Secundenstriches aufgezeichnet. In Washington dagegen wird zwar in der Hälfte der Secunde auch die Mitte des Secundenstriches gemacht, allein die von St. Louis kommende Signalpause wird erst später notirt, und so ergiebt sich denn, daß die Differenz von der Mitte der Signalpause in St. Louis bis zur Mitte der entsprechenden Signalpause in Washington das Doppelte der Zeit ist, welche der elektrische Strom braucht, um sich von der einen Endstation bis zur andern fortzupflanzen.

Dasselbe gilt für die Differenzen der Signalpausen der Zwischenstationen.

Die Differenz der Signalpausen wurde natürlich nicht aus einer, sondern als Mittel einer ganzen Reihe von Beobachtungen bestimmt.

Die Drahtlängen zwischen den verschiedenen Stationen waren folgende (nach englischen Meilen):

Washington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1045	757	423	289	St. Louis.

Als die Signale in St. Louis gegeben wurden, ergaben sich folgende Differenzen zwischen den Aufzeichnungen von Washington und den anderen Stationen:

Aufzeichnung.	Zahl der Beobachtungen.	Intervall.	Geschwindigkeit.
Pittsburg	37	0,0373″	15 442 Meilen
Cincinnati	46	0,0844	14 748
Louisville	46	0,1163	12 846
St. Louis	36	0,1108	13 484

Ebenso wurden die Differenzen der Signalpausen bestimmt, als die willkürliche Unterbrechung an den verschiedenen Zwischenstationen gemacht wurden.

Als Mittel aus sämmtlichen an diesem Tage gemachten Beobachtungen ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes gleich 14900 englischen Meilen.

In der folgenden Tabelle ist dies Resultat mit den andern nach der gleichen Methode an verschiedenen Tagen erhaltenen zusammengestellt. Washington war stets die eine Endstation.

Datum.	Endstation.	Geschwindigkeit.
23. Januar 1849 . . .	Cambridge	18 000
31. October 1849 . . .	Cincinnati	18 330
4. Februar 1850 . . .	St. Louis	14 900
5. Februar 1850 . . .	Charleston	16 856

Als Mittelwerth ergiebt sich daraus eine Geschwindigkeit von 15,890 englischen Meilen in der Sekunde.

Nach Wheatstone's sinnreichem Versuch ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 288,000 englische Meilen in der Secunde, also ungefähr 18mal größer, als nach den amerikanischen Versuchen.

Wheatstone's Leitung war durch Kupferdrähte gebildet, welche 1,7^{mm} Durchmesser hatten, während zur amerikanischen Telegraphenleitung Eisendraht von 3^{mm} Durchmesser verwendet worden war. Der specifische Leitungswiderstand des Eisens ist 6mal so groß als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikanischen Drähte einen ungefähr dreimal größeren Querschnitt als jene; bei gleicher Länge war daher der Leitungswiderstand der amerikanischen Leitung nahezu doppelt so groß, als beim Wheatstone'schen Versuch; aus der Ungleichheit des Leitungswiderstandes läßt sich also der bedeutende Unterschied der Wheatstone'schen und Walker'schen Resultate nicht zurückführen, man muß also wohl annehmen, daß dieser Unterschied wesentlich dadurch bedingt ist, daß das eine Mal mit Reibungselektricität experimentirt wurde, während das andere Mal ein galvanischer Strom zur Anwendung kam.

Als durch Einschaltung einer weiteren galvanischen Batterie die elektromotorische Kraft vergrößert wurde, ergab sich kein merklicher Zuwachs in der Geschwindigkeit; daraus folgt jedoch noch nicht, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität von der Stromstärke unabhängig sey.

Mit diesen Resultaten, welche unter den bis jetzt gemachten Bestimmungen über die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes am meisten Zutrauen zu verdienen scheinen, stimmen die Resultate nicht überein, welche Fizeau und Gounelle in den Comptes rendus (t. XXX. p. 439, Pogg. Ann. 80. Bd. p. 158) über diesen Gegenstand veröffentlichen. Die Beschreibung der Methode ist, wie Gould mit Recht bemerkt, sehr dunkel, und die Data, aus denen die Folgerungen abgeleitet wurden, sind nicht vollständig mitgetheilt. Den genannten französischen Physikern zufolge soll sich die Elektricität in einem Eisendraht von 4^{mm} Durchmesser mit einer Geschwindigkeit von 63,200 Meilen und in einem 2½^{mm} dicken

Kupferdraht mit einer Geschwindigkeit von 110,000 Meilen fortpflanzen. Die Spannung der Elektricität soll keinen Einfluß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben haben und sie soll sich nicht mit dem Querschnitt des Leitungsdrahtes, sondern nur mit dem Material desselben ändern, ohne jedoch dem specifischen Leitungsvermögen proportional zu seyn.

Nach Mitchel (Pogg. Ann. 80. Bd. p. 161) ist die Fortpflauzungsgeschwindigkeit der Elektricität 28,500 englische Meilen in der Secunde. Die Beschreibung der Beobachtungsmethode ist höchst undeutlich.

Die nächste Zukunft wird uns wohl über diesen eben so wichtigen als interessanten Gegenstand neues Material liefern.

309 **Unipolare Induction.** Es ist eine bekannte Thatsache, daß in allen Fällen, wo durch einen galvanischen Strom, welcher einen geschlossenen Leiter in einer bestimmten Richtung durchläuft, die Rotation eines Magneten bewirkt wird, — umgekehrt, — wenn der Leiter nicht durchströmt ist, man aber den Magneten in derselben Weise durch mechanische Mittel dreht, daß alsdann in dem Leiter ein Strom von entgegengesetzter Richtung inducirt wird. Weber hat nun diese Umkehrung auch für den Fall nachgewiesen, daß die Längenaxe des Magneten selbst die Rotationsaxe ist und daß ein Stück dieser Axe zugleich einen Theil des geschlossenen Leiters ausmacht, wie es bei demjenigen Rotationsversuch der Fall ist, welcher in Figur 227 meines Lehrbuchs der Physik (3. Aufl. 2. Bd. S. 242) dargestellt ist und für welchen Frick in seiner »Physikalischen Technik« Seite 354 eine sehr zweckmäßige Form angiebt.

Der Apparat, welchen Weber anwendet, um durch einen um seine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der unipolaren Induction bezeichnet, ist Fig. 342 dargestellt. Ein cylindrischer Stahlmagnet, *m*, war an beiden Enden mit Spitzen versehen, welche in kleine Vertiefungen der eisernen Klammern *a* und *b* eingesetzt waren, wie man dies Figur 343 deutlicher sieht. Diese Klammern waren auf das Brett aufgeschraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In diese Klammern konnte man zwei große Magnete mit denjenigen Enden einschieben, welche den entgegenstehenden Polen des Magneten *m* entgegengesetzt waren und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhen.

Die Umdrehung des Magneten *m* um seine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkstelligt, dessen Einrichtung sich aus der Fig. 342 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder 8⁴⁄₇ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Messingscheibe *s* befestigt, deren unteres Ende in Quecksilber eintauchte, welches sich in dem Gefäße *g* befand.

Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Quecksilbergefäß g getaucht, das andere an der Klammer b befestigt, so wurde die

Fig. 342.

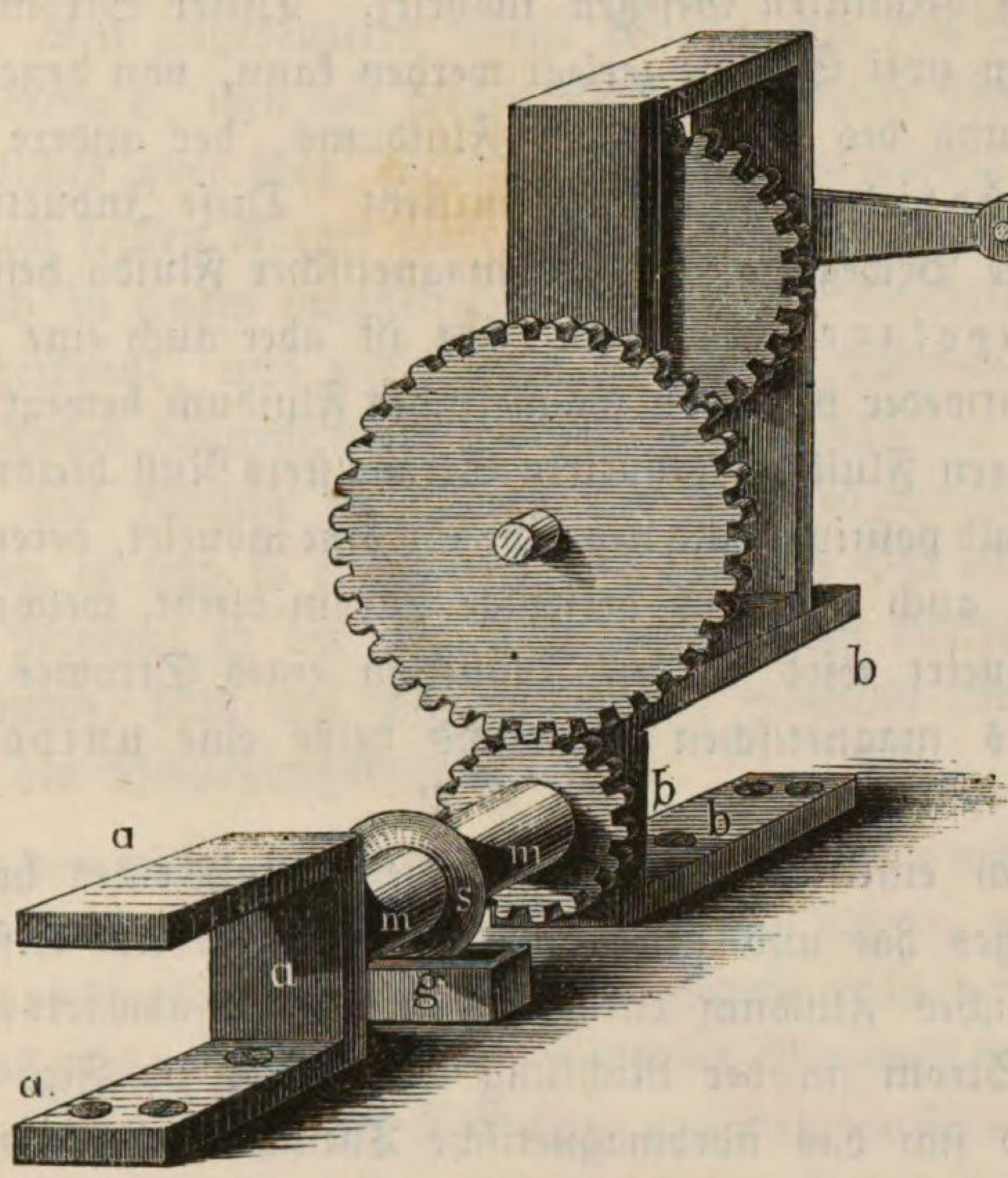
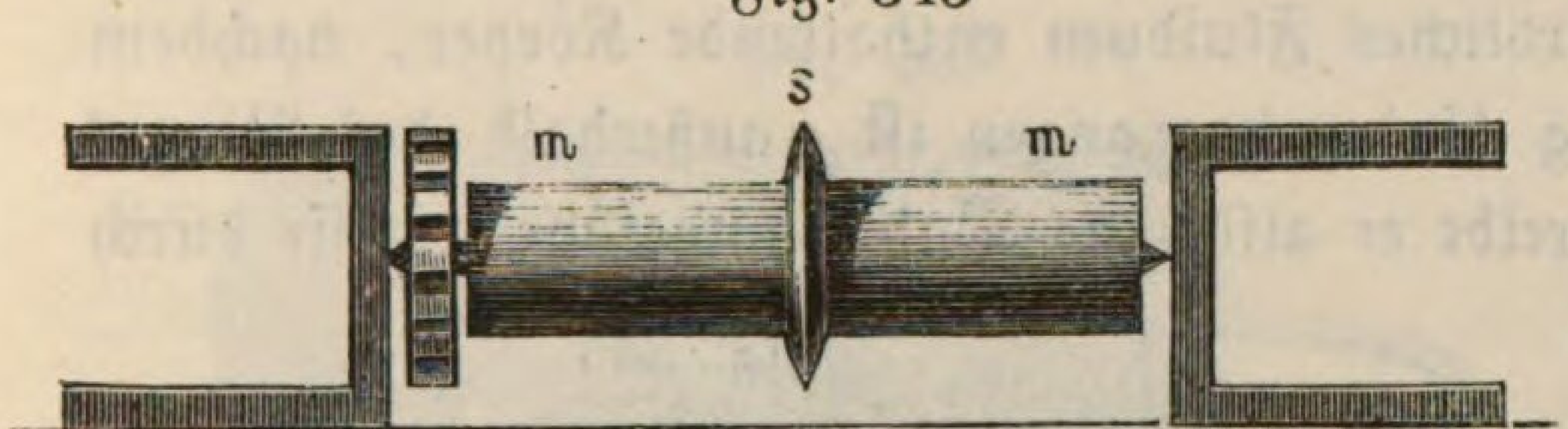


Fig. 343



Multiplicatornadel abgelenkt, sobald man die Kurbel zu drehen begann.

Als Multiplicator wurde ein transportabeles Magnetometer angewandt, um dessen Magnetstab der Multiplicatordraht in 2000 Windungen herumgeführt war. Um die Kraft zu vermindern, mit welcher der Magnetometerstab im magnetischen Meridian zurückgehalten wird, wurde ein 25pfündiger Magnetstab etwa 2 Meter südlich vom Magnetometer so aufgestellt, daß sein Südende nach Norden kehrte; dadurch wurde natürlich die Empfindlichkeit des strommessenden Apparates sehr erhöht.

Die theoretische Betrachtung, durch welche Weber nachweist, daß in diesem Fall eine Inducation stattfinden müsse und durch welche auch die Benennung »unipolare Induction« gerechtfertigt wird, ist folgende:

Man nimmt die Existenz zweier magnetischer Fluida an, eines nördli-

chen und eines südlichen, welche in den Molekülen eines Magneten in gleicher Menge vorhanden, aber von einander geschieden sind. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einem benachbarten Leiter ein galvanischer Strom nach bekannten Gesetzen inducirt. Dieser Strom ist so beschaffen, daß er in zwei Ströme zerlegt werden kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen Fluidums, der andere durch die Bewegung des südlichen Fluidums entsteht. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider magnetischer Fluida heiße im Allgemeinen eine bipolare Induction. Es ist aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder bloß ein magnetisches Fluidum bewegt wird und also der vom andern Fluidum inducirte Strom stets Null bleibt, oder das andere Fluidum bald positive, bald negative Ströme inducirt, deren Summe Null ist, so daß auch hier bloß derjenige Strom bleibt, welcher vom ersten Fluidum inducirt wird. Diese Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetischen Fluidums heiße eine unipolare Induction.

Man denke sich einen Leiter, welcher die Gestalt eines horizontalen Kreises oder Ringes hat und bewege in der verticalen Axe dieses Ringes einen bloß nördliches Fluidum enthaltenden Körper abwärts, so wird im Ring ein Strom in der Richtung des Pfeils p, Fig. 344, inducirt. Während sich das nordmagnetische Theilchen von oben her der Ringebene nähert, nimmt die Stärke des inducirten Stromes zu, während es sich unterhalb von der Ringebene entfernt, nimmt die Stromstärke ab, ohne daß eine Veränderung in der Stromesrichtung stattfände.

Wird nun der, bloß nördliches Fluidum enthaltende Körper, nachdem er abwärts durch den Ring hindurchgegangen ist, außerhalb des Ringes wieder hinaufgeführt, beschreibt er also eine Bahn, ungefähr wie sie durch

Fig. 344.

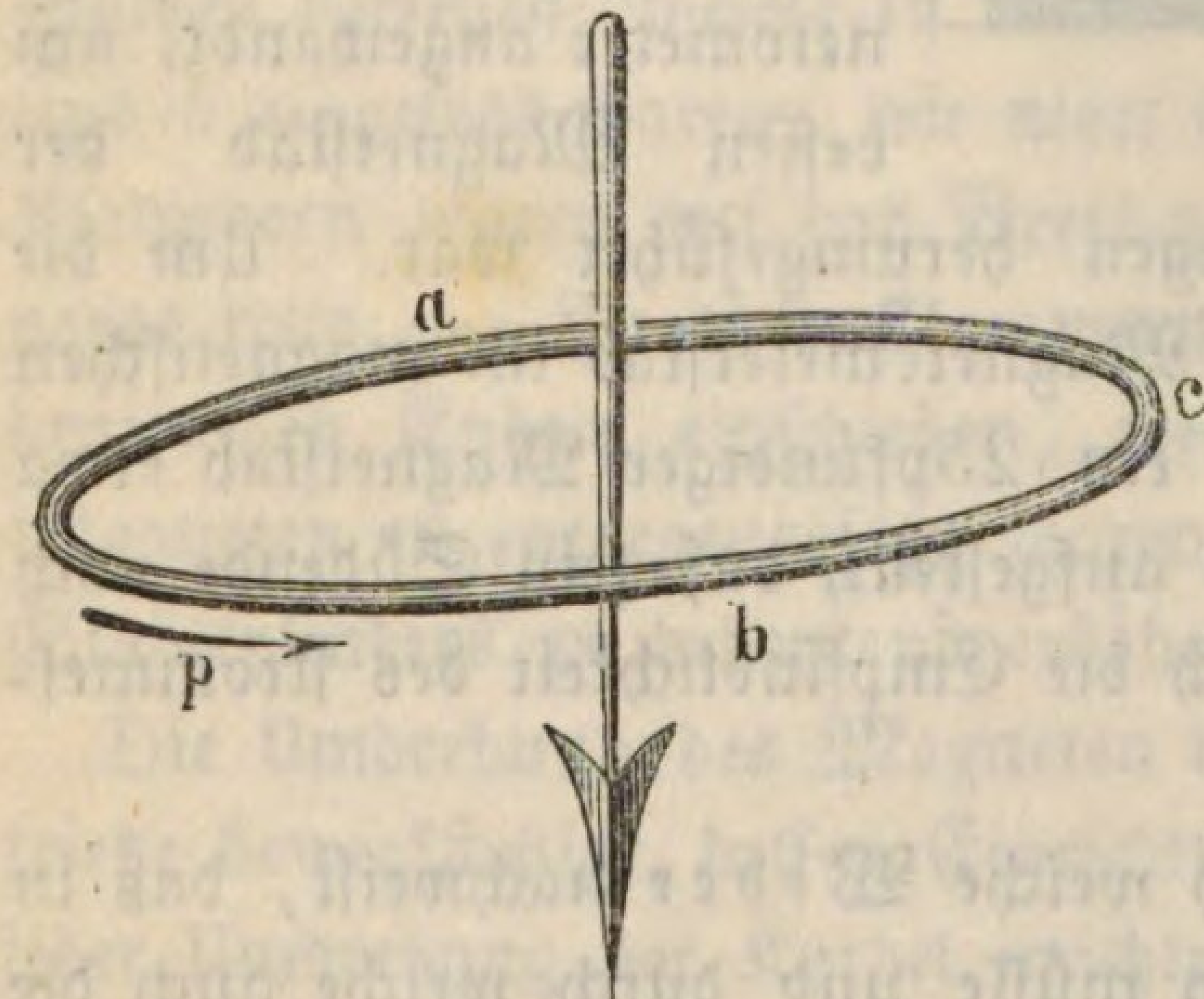
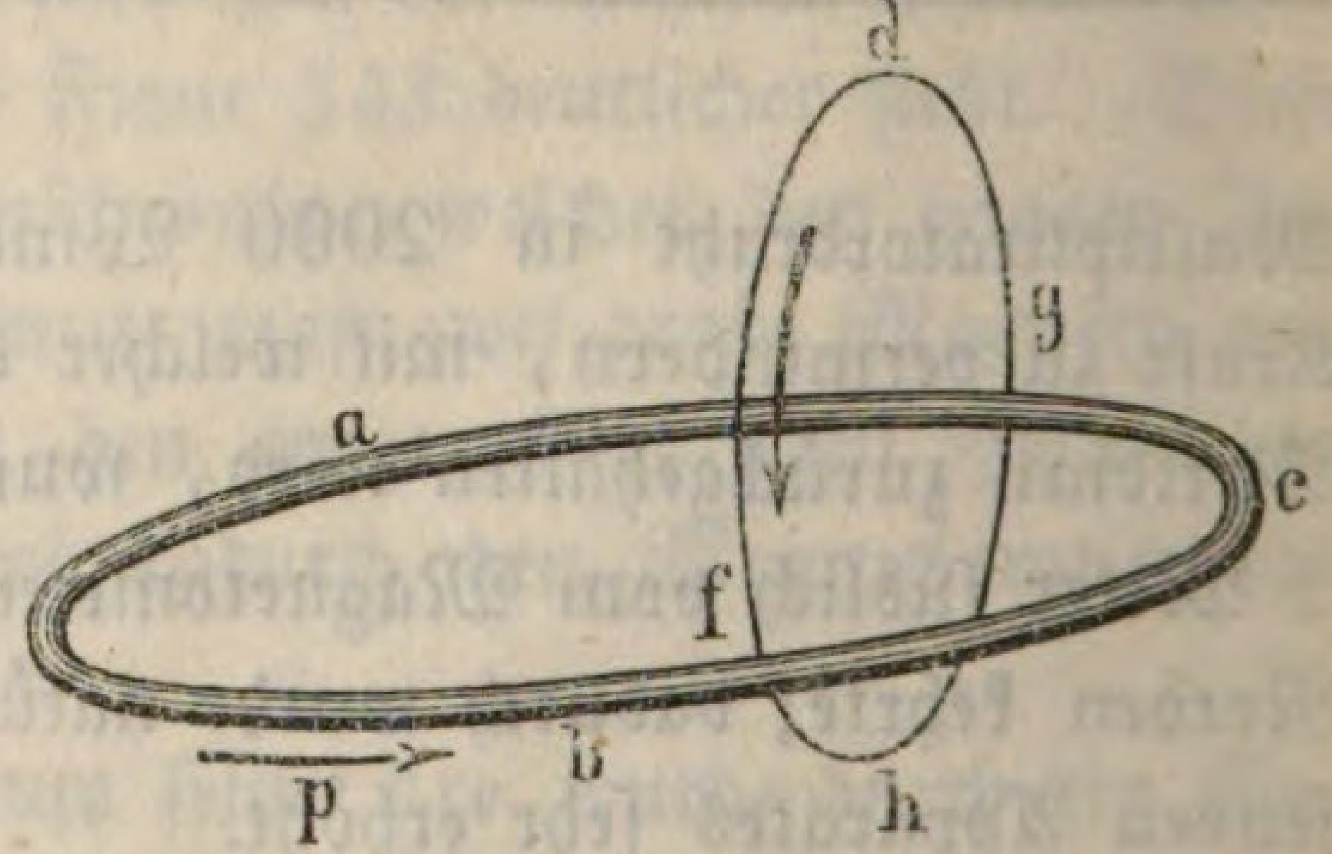


Fig. 345.



den Kreis $dfhg$, Fig. 345, dargestellt ist, so wird er stets einen Strom in gleicher Richtung induciren.

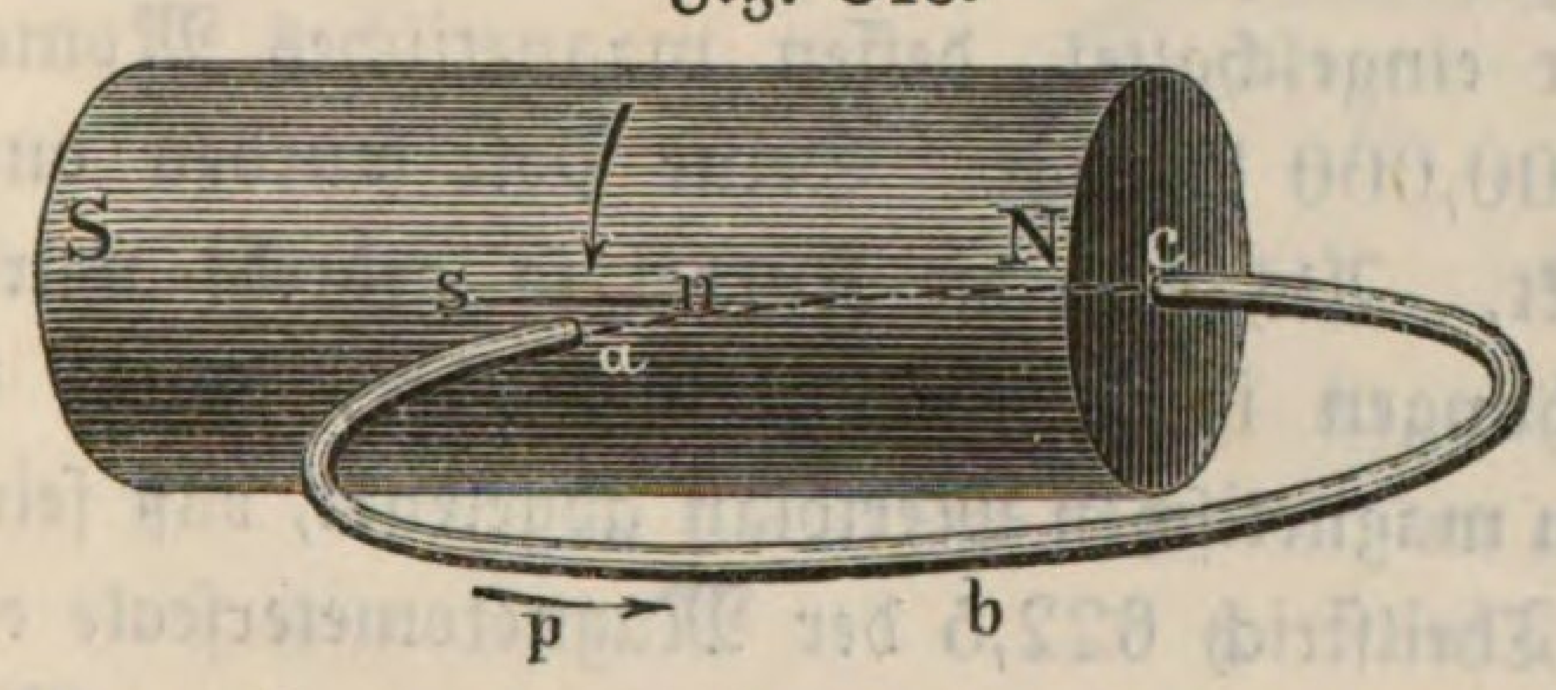
Enthielte der im Kreis *dfhg* bewegte Körper nur südliches Fluidum, so würde der im horizontalen Leiter inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von der in Fig. 345 angedeuteten seyn.

In der eben angedeuteten Weise können wir freilich keine Induction zu Wege bringen, weil wir keinen Körper darstellen können, in welchem bloß nördliches oder bloß südliches Fluidum vorhanden wäre. — Wenn es aber auch keinen Körper giebt, welcher nur das eine Fluidum enthielte, so sind doch in einem magnetischen Körper die magnetischen Flüssigkeiten räumlich getrennt, und wir können uns ja die Wirkungen eines Magneten nach Außen dadurch hervorgebracht denken, daß das nördliche Fluidum im einen, das südliche im andern Pol des Magnetstabes gesammelt ist. Wir können es nun so einrichten, daß der eine Pol eines Magnetstabes, etwa der Nordpol in der Fig. 345 angedeuteten Weise, halb durch den Ring hindurch, halb um ihn herumgeht, während der andere Pol ganz außerhalb des Schließungsbogens bleibt.

Um ein derartiges Arrangement herzurichten, muß man einen Theil des Magneten selbst in den Schließungsbogen einschalten, wie es der Fall ist, wenn man das eine Ende eines Leitungsdrahtes in der Mitte des einen Poles, das andere Ende an der Seite des Magnetstabes ansetzt, wie es Fig. 346 angedeutet ist, wo *NS* einen cylindrischen Magnetstab und *abc* einen Leitungsdraht darstellt, zwischen dessen Enden ein Stück des Magneten eingeschaltet ist.

Man sieht nun leicht ein, daß, wenn bei dieser Anordnung der Magnet um seine Axe rotirt, die einzelnen südmagnetischen Partikelchen in *S* stets außerhalb des geschlossenen Leiters bleiben, daß sie also keinen bemerkbaren Inductionsstrom in demselben bewirken können, weil der Strom, den sie auf der einen Hälfte ihrer Bahn induciren, demjenigen gleich und entgegengesetzt ist, welchen sie induciren, während sie die andere Hälfte ihrer Bahn durchlaufen. Anders verhält es sich mit den nordmagnetischen Partikelchen in *N*. Sie bewegen sich in Beziehung auf den Schließungsbogen gerade so, wie es in dem Fig. 345 dargestellten Falle angenommen wurde; die nordmagnetischen Partikelchen in *N* induciren also in der Richtung des Pfeiles *p* einen continuirlichen Strom, wenn der Magnet in der angegebenen Richtung rotirt.

Fig. 346.



Hier inducirt also der Nordpol einen Strom, während der Südpol des

Magneten keine entsprechende Induction bewirken kann, daher der Name der **unipolaren Induction**.

Wir haben hier freilich angenommen, daß alles nordmagnetische Fluidum in *N*, alles südliche in *S* concentrirt sey, was in der That nicht der Fall ist, indem sich in der ganzen Länge des Magnetstabes noch magnetische Partikeln vorfinden. Was aber für den ganzen Magneten gesagt wurde, gilt ebenso für die einzelnen magnetischen Partikelchen. Denken wir uns ein magnetisches Partikelchen *ns*, dessen Mittelpunkt bei seiner Rotation gerade den Punkt passirt, an welchem der Draht den Stahlcylinder berührt, so wird während der Rotation des Cylinders *n* durch den Ring hindurchgehn, *s* aber außerhalb desselben bleiben, also blos *n* einen continuirlichen, stets gleichgerichteten Strom induciren; so giebt es für jeden Punkt des Schließungsbogens innerhalb des Stahlcylinders eine Reihe von magnetischen Partikelchen, welche bei der Rotation mit ihrem einen Pole durch den Schließungsbogen hindurchgehn, mit dem andern aber blos außerhalb desselben sich bewegen.

Man übersieht nun auch leicht, daß der Apparat Fig. 342 die Ausführung der Fig. 346 schematisch dargestellten Anordnung ist.

Aus den oben angestellten Betrachtungen ergeben sich nun in Beziehung auf den unipolaren Inductionsstrom noch folgende Gesetze.

Die Induction ist unabhängig von der Länge des Cylinders, vorausgesetzt, daß alle seine Theilchen gleich stark magnetisch sind, sie ist aber unter sonst gleichen Umständen dem Querschnitt des Cylinders proportional.

In den oben beschriebenen Apparat wurde ein Stahlcylinder von 269^{mm} Länge und 23^{mm} Durchmesser eingeschaltet, dessen magnetisches Moment nach absolutem Maaß 65,000,000 beträgt. Seine Pole wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt. Als nun die Kurbel so gedreht wurde, daß der Magnet 60 Umdrehungen in 7 Secunden machte, wurde der Magnetometerstab so aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, daß seiner neuen Gleichgewichtslage der Theilstrich 622,5 der Magnetometerscale entsprach. Nun wurde mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung gedreht und nun entsprach der Theilstrich 736,5 der Gleichgewichtslage. Die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung aus dem magnetischen Meridian betrug also in diesem Falle

$$\frac{736{,}5 - 622{,}5}{2} = 57$$

Theilstriche. Als halb so schnell gedreht wurde, war auch die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung nur halb so groß.

Der Versuch bestätigte das in der **Weber**'schen Theorie enthaltene Gesetz in Beziehung auf die Richtung des unipolar inducirten Stromes;

auch die Stärke desselben stimmte, so weit es sich bei solchen Versuchen erwarten läßt, mit den theoretischen Bestimmungen Weber's überein.

Die Erscheinung der unipolaren Induction erhält eine besondere Wichtigkeit bei Beantwortung der Frage, ob den beiden magnetischen Fluidis eine physische Existenz zugeschrieben werden müsse, oder ob überall statt ihrer die Annahme fortdauernder galvanischer Ströme im Innern der Magnete zulässig sey. — Zur Erklärung der unipolaren Induction scheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der physischen Existenz zweier magnetischer Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben scheint, sondern auch zuerst auf die Betrachtung dieser Erscheinung geführt hat. Ebenso läßt sich der Rotationsversuch, durch dessen Umkehrung die unipolare Induction erhalten wird, sehr wohl durch die Annahme magnetischer räumlich getrennter Fluida, aber nicht durch die Ampérischen Ströme erklären. (Gauß und Weber, Resultate des magnetischen Vereins im Jahre 1839, Seite 63.)

auch die Stärkeverhältnisse betrifft, so weit es sich bei solchen Versuchen erwarten läßt, mit den theoretischen Bestimmungen Weber's überein.

Die Erscheinung der unipolaren Induction erhält eine besondere Wichtigkeit bei Beantwortung der Frage, ob den beiden magnetischen Fluidis eine physische Existenz zugeschrieben werden müsse, oder ob überall statt ihrer die Annahme fortdauernder galvanischer Ströme im Innern der Magnete zulässig sei. — Zur Erklärung der unipolaren Induction scheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der physischen Existenz zweier magnetischer Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben scheint, sondern auch zuerst auf die Betrachtung dieser Erscheinung geführt hat. Ebenso läßt sich der Rotationsversuch, durch dessen Umkehrung die unipolare Induction erhalten wird, sehr wohl durch die Annahme magnetischer räumlich getrennter Fluida, aber nicht durch die Ampère'schen Ströme erklären. (Gauß und Weber, Resultate des magnetischen Vereins im Jahre 1839, Seite 63.)

Berichtigungen.

Seite	46	Zeile	10	v. U. ist zu lesen Poisson's statt Prisson's.
»	74	»	2	v. U. l. schärfer statt schiefer.
»	123	»	15	v. O. l. kennt statt kommt.
»	201			Die Figur 75 ist umzukehren.
»	238			Die ganze Stelle von »Hier mögte sich aber u. s. w.« Zeile 8 v. O. bis »lasse ich freilich dahin gestellt sein« Seite 239 Zeile 17 v. O. ist ganz wegzustreichen.

Von dem Wunsche erfüllt, wo möglich eine Ausgleichung zwischen den streitenden Theorien anzubahnen, habe ich mir hier eine Uebereilung zu schulden kommen lassen, indem ich es ganz übersehen habe, daß das elektrische Verhalten des Zinks gegen Wasser und verdünnte Schwefelsäure längst ermittelt ist. Es ist eine bekannte Thatsache, daß Zink in Berührung mit Wasser und verdünnter Schwefelsäure negativ elektrisch wird, daß also das hervorragende Ende eines in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure eingetauchten Zinkstücks freie negative Elektricität zeigen muß.

Ich hätte dies um so eher wissen können, als dieser Gegenstand in meinem Lehrbuch der Physik ausfürlich besprochen wird.

Durch diese Thatsache fällt nun freilich der ganze Ausgleichungsversuch von Seite 238 in sich zusammen.

Die Contacttheorie nimmt bei der Theorie der Säule das elektromotorische Verhalten der Metalle gegen Flüssigkeiten (Elektrolyte) als eine Thatsache an, von welcher meines Wissens bis jetzt noch keine weitere Begründung versucht worden ist.

Die Anhänger der chemischen Theorie dagegen haben die elektrische Erregung der verschiedenen Metalle bei Berührung mit Flüssigkeiten aus der chemischen Verwandtschaft der Metalle zu den Bestandtheilen der Elektrolyte herzuleiten versucht, wie wir es S. 230 u. f. gesehen haben, wobei sie sich aber zu der Annahme genöthigt sahen, daß eine ähnliche Polarisation, wie sie in den Wassertheilchen zwischen den Elektroden stattfindet, sich auch in den Theilchen eines in die Flüssigkeit eingetauchten Metallstückes fortsetzt, so daß sich das Metall gewissermaßen in Schichten von abwechselnd positiven und negativen Molekeln abtheilt. Es dürfte jedoch schwer halten, einen experimentellen Beweis für die Existenz eines solchen Polarisationszustandes in den Metallen beizubringen.

Seite 251 Zeile 1 v. O. lese 237^{mm} anstatt 233^{mm}.

» 252 » 12 v. O. l. 2,2083 statt 22,083.

» — » 13 v. O. l. 2,21 statt 22,1

» 292 » 13 v. U. l. $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} + \frac{s}{r}$, statt $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} = \frac{s}{r}$,

» 306 » 7 v. O. soll heißen $w = s\frac{l.\,0{,}785}{\pi r^2} = s\,\frac{l}{d^2}$.

» 423 » 8 v. U. l. Magnetelektromotor statt Magnetelektrometer.

» 511—514 Hier haben sich in die Zahlenwerthe mehrere so störende Fehler eingeschlichen, daß für diese beiden Blätter ein Carton gedruckt werden mußte.

» 517 Den Factoren von d^2 in den beiden Werthen von P ist ein o anzuhängen. In Folge dessen heißt auch auf

» 518 der Werth von P:

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2} \operatorname{tang} \frac{M}{1720\, l d^2}$$

» 548 » 16 v. U. soll heißen pr. Secunde anstatt pr. Stunde.

» 672 Die beiden Zeilen 5 und 4 v. U. sollen heißen:

Winkel $A\alpha\alpha' = \Theta'$
Winkel $A\alpha n = \Theta$.

» 674 » 16 u. 17 v. U. sollen heißen:

$\cos.\varphi = \cos.\Theta$
$\cos.\Theta' = -\sin.\Theta$.

» — » 10 v. U. ist zu setzen $\cos.\Theta' = \sin.\Theta$ für $\cos.\Theta' = -\sin.\Theta$.